Les bois ouvragés en Gaule romaine : approches croisées archéologiques, anthraco-xylologiques et entomologiques

Magali Toriti

▶ **To cite this version:**

Magali Toriti. Les bois ouvragés en Gaule romaine : approches croisées archéologiques, anthraco-xylologiques et entomologiques. Archéologie et Préhistoire. Le Mans Université, 2018. Français. NNT : 2018LEMA3007 . tel-02382217

HAL Id: tel-02382217

https://theses.hal.science/tel-02382217

Submitted on 27 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE SOCIETES BRETAGNE TEMPS LOIRE TERRITOIRES

Le Mans Université

THÈSE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE
COMUE UNIVERSITÉ BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 604
Sociétés, Temps, Territoires
Spécialité : Archéologie

Par

Magali TORITI

Les bois ouvragés en Gaule romaine : approches croisées archéologiques, anthraco-xylologiques et entomologiques

Thèse présentée et soutenue à Le Mans Université, le 04 décembre 2018
Unité de recherche : CReAAH, UMR 6566, département d'histoire, Le Mans université
avenue Olivier Messiaen F.-72085 Le Mans cedex 9

Volume I : texte

Composition du Jury :

Rapporteurs :	Alain BOUET	Professeur, Université Bordeaux Montaigne, Ausonius, UMR 5607
	Dominique MARGUERIE	Directeur de recherche, CNRS, ECOBIO, UMR 5553, Rennes
Examinateurs :	Lucie CHABAL	Chargée de recherche, CNRS, ISEM, UMR 5554, Montpellier
	Martial MONTEIL	Professeur, Université de Nantes, CReAAH, UMR 6566
	Pierre MORET	Directeur de recherche, CNRS, TRACES, UMR 5608, Toulouse
	Oliver NELLE	Directeur du laboratoire dendrochronologique de l'office d'état, conservation des monuments historiques
Dir. de thèse :	Aline DURAND	Professeure, Le Mans Université, CReAAH, UMR 6566
Co-enc. de thèse :	Fabien FOHRER	Entomologiste et microbiologiste, CICRP, Marseille

Résumé
Mot clés : bois d'œuvre, anthracologie, entomologie, Gaule romaine, état sanitaire.

LES BOIS OUVRAGÉS EN GAULE ROMAINE : APPROCHES CROISÉES ARCHÉOLOGIQUES, ANTHRACO-XYLOLOGIQUES ET ENTOMOLOGIQUES

Le bois est l'une des matières premières les plus utilisées dans la construction romaine, ce qui en fait un élément clé de l'économie et de l'environnement. Mais contrairement à la pierre, ce matériau ne laisse que peu de traces sur le terrain, rendant ainsi son interprétation parfois complexe.
Cette thèse tente d'aborder le bois de construction gallo-romain sous différents aspects (choix et transport du bois, chaîne opératoire technique du travail et état sanitaire) à partir d'une approche interdisciplinaire alliant Sciences de l'Homme et Sciences biologiques.

Le point novateur de ce travail réside dans la réalisation d'une clé de détermination des traces (galeries et vermoulures) que les insectes xylophages laissent dans le bois archéologique. Savoir identifier ces traces conduit à de nouvelles pistes interprétatives : déterminer le moment où s'est produit l'infestation (bois sur pied, lors d'une phase de stockage, après sa mise en place dans l'architecture ou après l'abandon du site et l'enfouissement des vestiges) ; estimer la durée et localiser la source de l'infestation ; obtenir des indications sur les choix et les gestes des constructeurs et mieux appréhender la conservation du patrimoine ligneux.

Abstract
Keywords : timbers, anthracology, entomology, Roman Gaul, wood condition

TIMBER IN ROMAN GAUL : INTERDISCIPLINARY PROJECT IN ARCHAEOLOGY, ANTHRACO-XYLOLOGY AND ENTOMOLOGY

Wood is one of the most used raw materials in Roman construction. So timber is a key element of the economy and of the environment. If stone is easely discovered during excavations timber leaves a few remains on archaeological excavations. So interpreting resultsis difficult.
This PhD attempts to approach the Gallo-Roman timber in various aspects (choice and transport of wood, technical chain of work and wood condition) from an interdisciplinary approach combining human and biological sciences.

The innovative part of this work is the realization of an atlas to determine the xylophagous's traces (galleries and frass) into the archaeological wood. Knowing how to identify these traces is important to develop new archaeological interpretations: Is it an infestation of alive tree? Is it an infestation during a storage phase, the use of the building or after the abandonment of the site and during the taphonomical process ? To estimate the duration of the infestation and locate its origin; to document choices and actions of the builders; and to have a better understanding of the conservation of wood heritage

« Nous admirons les épaules chargées de tours des éléphants, les cous des taureaux, leur violence à projeter en l'air leurs victimes, les rapines des tigres, les crinières des lions, alors que la nature n'est nulle part plus tout entière que dans les tout petits.

Aussi, je prie les lecteurs, malgré le mépris qu'ils ont pour beaucoup de ces insectes, de ne point vouloir également condamner de leur dédain ce qui en est apporté ici : dans l'observation de la nature rien ne peut paraître superflu. »

Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle*, Livre XI, 1, 2

REMERCIEMENTS

Ces « quelques » pages sont le résultat de près de quatre ans de travail et auparavant, de deux autres années d'incubation et d'apprentissage. Je souhaite remercier ici toutes les personnes qui ont contribué, chacune à sa manière, à faire de cette recherche une réalité.

* * *

Alain BOUET, Lucie CHABAL, Dominique MARGUERIE, Martial MONTEIL, Pierre MORET et Oliver NELLE m'ont fait l'honneur d'examiner ce manuscrit et de faire partie du jury aux côtés d'Aline DURAND et de Fabien FOHRER. Je tiens à leur adresser mes remerciements respectueux.

* * *

Je tenais tout d'abord à remercier très chaleureusement ma directrice de thèse Aline DURAND qui a su, tout au long de ce parcours dans les bons comme dans les moins bons moments de ma vie d'étudiante, me former, me guider, me rassurer et me conseiller. Grâce à sa disponibilité et son investissement, j'ai beaucoup appris sur le métier d'anthracologue et d'archéologue : de nos sorties terrain pour trouver des bois infestés, aux excursions, aux colloques et aux longues heures de microscope. Merci pour tout !

Un immense merci à Fabien FOHRER qui a accepté de me co-encadrer dans ce projet. C'était un rôle nouveau pour lui comme pour moi. À ses côtés, j'ai appris bon nombre de choses intéressantes sur le monde des insectes à travers sa passion toujours très communicative. J'en profite pour remercier l'ensemble du CICRP et son directeur Roland MAY pour m'avoir accueillie dans leurs locaux à Marseille, où nous avons pu avec Fabien, expérimenter et mesurer nos insectes sans les laisser s'évader dans les couloirs, ou presque.

Je dois aussi beaucoup à mon laboratoire d'accueil, le CReAAH, dirigé par Marie-Yvane DAIRE et au début de ma thèse par Pierre-Yves LAFFONT et sur le site du Mans par Rita SOUSSIGNAN puis par Aline DURAND. Tous m'y ont accueillie et soutenue dans ce qui était pour moi un "nouvel environnement". La liste des membres du CReAAH est imposante et m'a offert une dynamique de recherche scientifique captivante. Que ce soit les membres du pôle « administratif » que j'ai régulièrement sollicités : Brigitte BELLANGER, Annie DELAHAIE, Catherine LOUAZEL, Catherine GORLINI, Chloé ROUSSEAU, Éveline LEVEZIEL, Fabienne ZELMAT ; le pôle « enseignant » et « scientifique » : Vincent BERNARD, Chantal LEROYER, Jimmy MOUCHARD, David GUITTON, Martial MONTEIL, David AOUSTIN, Hélène SEIGNAC, Véronique GUITTON, Annie ALLELY, Catherine DUPONT, Ramiro MARCH, Cécile LECARLIER, Jean-Christophe LE BANNIER, Jean-Baptiste BARREAU, Nancy MARCOUX, Guirec QUERRÉ, Jean-Yves HUNOT, Alice SCHAFFHAUSER..., et aussi Dominique MARGUERIE qui m'a accueillie les premières années de mon doctorat... Chacun d'entre eux a contribué avec bienveillance à l'avancée de mon travail et à mon intégration au sein du laboratoire et des équipes de recherche par des conseils, des aides, ou encore par des travaux communs,

dans les locaux et couloirs de l'université du Mans, dans ceux du campus de Rennes 1 ou encore dans ceux de l'université nantaise. Un laboratoire multi-sites et interdisplinaire qui m'a aidé à trouver un équilibre. Merci à tous !

Tout a commencé à l'été 2011, lors d'un de mes premiers chantiers archéologiques, celui du col d'Adon dans le Sud de la France, auprès de Raphaël GOLOSETTI et de Vincent DUMAS. C'est avec eux que le coup d'envoi a démarré pour développer la thématique de ce travail doctoral. Il y a également eu le très intéressant plancher du site de Barzan, dont je sais gré à Alain BOUET et par Philippe POIRIER de me l'avoir confié pour étude. En parallèle, c'est avec une grande partie de l'équipe du Centre Camille Jullian à Aix en Provence que j'ai pu réfléchir, construire et enrichir ce sujet : mon directeur de master Dominique GARCIA, Florence MOCCI et Delphine ISOARDI pour les apprentissages sur le terrain, Gérald BÉNIÈRE pour son aide avec les textes antique à la Bibliothèque d'Antiquité d'Aix-en-Provence et Christine DURAND pour les photographies d'objets carbonisés de Fréjus.

C'est ensuite au sein du Service Archéologique de la ville de Fréjus que j'ai pu parfaire mes armes. Je ne remercierais jamais assez mon « chef » Pierre EXCOFFON pour sa confiance et les « cartes blanches » qu'il m'a laissées pour réaliser les prélèvements sur le terrain de Camelin. Et Grégory GAUCHER pour sa patience remarquable sur le terrain et en post-fouille, répondant inlassablement à mes questions en tout genre. Un grand merci à mon binôme Florian GRIMALDI que j'ai modestement « formé » aux prélèvements anthraco-carpologiques. Sans oublier toute l'équipe du service et leur bonne humeur par tous les temps : Nicolas PORTALIER, Sébastien MIDÉNA, Christophe LAROCCA, Emmanuel PELLEGRINO, Hélène GARCIA, Fabienne OZENDA, Sonia, Stéphanie, Louise, Juliette, Marinella Valente (Centre Archéologique du Var), Sylvestre, Charlène, Jean-Baptiste, Jérémy, Johan, Sybille, Claire, Sandrine...

Je n'aurai sans doute pas rencontré l'équipe de Fréjus sans l'équipe du service Archéologique de la ville d'Aix en Provence dirigé par Núria NIN. Je pense en particulier à Stéphane BONNET.

Ces premières analyses ont conduit à rencontrer des entomologistes qui m'ont aiguillée et fait persévérer dans cette voie, je les en remercie. D'abord les conseils de Philippe PONEL (IMBE, Aix en Provence), puis les travaux sur le site de Rezé avec son ancien étudiant David PÉCRÉAUX. Et en parallèle bien sûr Fabien FOHRER.

Avec l'arrivée au Mans, premier « grand voyage » de ma vie autre que la Provence, j'ai pu effectuer une mission complémentaire d'enseignement (une pensée à tous ces étudiants qui ont bien voulu me servir de cobayes et aidé sans le savoir à vaincre un peu ma timidité) aux côtés d'Annie ALLELY, d'Aline DURAND et de Renaud BOUCHET que je remercie pour leurs échanges.

Ma première grande sortie en tant que doctorante fut en Suisse à l'occasion d'un stage sur l'anatomie du bois, dirigé par le charismatique F. SCHWEINGRUBER et accompagné par Alan CRIVELLARO (Padova, Italy) et Holger GÄRTNER (Suisse, ETH). Cette étape, ou plutôt

cette chance, a été un tournant pour moi notamment sur la manière d'appréhender le bois. Les nombreuses discussions, excursions sur place puis par la suite par courriel en particulier avec Alan CRIVELLARO ont débouché sur une collaboration et des échanges scientifiques solides et constructifs. Il a toujours fait tout son possible pour m'aider. Grazie ! J'y ai aussi rencontré Zoë HAZËLL (paléoecologiste, Angleterre) avec qui j'échange toujours des courriels et des conseils.

Les archéologues et les spécialistes que j'ai pu rencontrer depuis le début de cette thèse sont nombreux. Ce travail n'aurait pas été possible sans leur confiance et leur coopération.

Mes pensées vont tout d'abord à l'équipe de fouille du site de Saint-Lupien à Rezé plus particulièrement à leurs responsables : David GUITTON et à Jimmy MOUCHARD pour leur confiance, leur aide et leurs relectures. À Frédéric ÉPAUD (Université de Tours) pour ses échanges, son enseignement sur les techniques du travail du bois et son suivi de ce travail. Un grand merci à Lydiane GANTIER pour toutes ces heures d'enregistrement dans la joie et la bonne humeur ! Merci également à l'équipe de fouille pour leur aide sur le terrain, Matthieu, Pauline, Marie, Océane, Élian et à tous les masters pro de Nantes (2016) qui sont passés par la case « atelier du bois ».

Je remercie vivement l'INRAP de Rennes en particulier Gaétan LE CLOIREC et Hélène SEIGNAC pour leurs échanges constructifs sur ce site d'envergure de la ville de Rennes : les Jacobins.

Mes pensées vont également à Vanessa PY qui a pensé à moi et accepté que je retravaille sur ses bois du théâtre de Châteaubleau. Son contact fut enrichissant et les échanges de courriels avec l'équipe de fouille du site, notamment Fabien PILON et Cyrille CHENAIE ont ouvert mes perspectives de recherche sur les xylophages.

Lorsque je cherchais des sites à étudier, Manon CABANIS (INRAP) a fait passer mon message et m'a permis de rencontrer Valentina BELLAVIA et Hervé DELHOOFS (site de Cébazat) ainsi que Christelle BELINGARD et Morgan GRALL (site de Chassenon), enrichissant de ce fait mon corpus de thèse grâce à leur disponibilité et leur bienveillance à l'égard de ce sujet. Merci à eux !

Je dois beaucoup aux dendrochronologues ! Plus particulièrement à l'entreprise DENDROTECH : Yannick LE DIGOL, Yann COUTURIER et Axel MARAIS pour leurs enseignements, leurs conseils avisés tant sur le bois que sur la gestion de base de données et leur disponibilité et leur passion. Au sein de leurs locaux, nous avons pu avec Lydiane GANTIER mener à bien nos études sur les bois de Rezé. Je pense également à J.-L. ÉDOUARD (anciennement CCJ, Aix en Provence) et à son ancienne étudiante Lisa SHINDO pour leurs premiers soutiens, informations et aides lorsque j'avais des charbons que je pensais « gros » et potentiellement intéressants à mesurer.

Il y a eu aussi de nombreux partenaires issus du monde des musées et de la conservation patrimoniale du Grand Ouest.

Je remercie beaucoup Gwenaël LEMOINE (ARC'ANTIQUE) pour sa confiance et sa disponibilité. Une grande partie des travaux présentés dans le chapitre V lui doit beaucoup. Elle m'a fourni des documents précieux pour avancer dans cette recherche et permis d'accéder à des collections de bois très enrichissantes : Trégueux et Alésia. À ce propos, je tiens à remercier Claude Grapin (Conservateur à Alise Sainte-Reine) pour son accord afin d'accéder à sa collection et à ses échanges intéressants sur ces fouilles des années 30.

Ma reconnaissance chaleureuse s'adresse à Véronique GENDROT (SRA Rennes) qui m'a accueillie à plusieurs reprises dans son bureau pour travailler sur les bois de collections muséales stockés au SRA.

Merci à l'équipe du Musée Dobrée à Nantes, plus particulièrement à Camille BROUCKE (Responsable du pôle conservation), Chrystelle QUEBRIAC (Régisseuse des collections) et de Nicole LEMOINE (Responsable du Centre de Documentation.) pour leur disponibilité, leur gentillesse et leur trouvaille d'une loupe binoculaire de secours pour faire mes observations au sein de leurs locaux. Je remercie par la même occasion Julie BOUYET qui m'a accueillie au sein du Carré Plantagenêt au Mans, toujours dans le but de trouver les fameuses « vrillettes du Mans ». Je ne perds pas espoir. Merci à tous !

J'ai eu le privilège de suivre les enseignements statistiques spécialement pour archéologues de la part de Philippe LANOS. Avec lui j'ai pu discuter de mes thématiques scientifiques et de l'approche mathématique la plus intéressante pour aborder ces vermoulures et ces galeries. Merci beaucoup !

Les expériences de carbonisation des traces d'insectes n'auraient pas pu avoir lieu sans l'aide et le soutien de Ramiro MARCH qui m'a prêté son four à moufle et pris le temps de m'expliquer toutes les meilleures démarches à effectuer.

Au moment de clore ce travail, mes pensées se tournent naturellement vers l'équipe du MEB et tout particulièrement vers Loïc JOANNY et son acolyte Francis GOUTTEFANGEAS. Avec eux, ce fut près de 70h de microscope, de tests, de cacas d'insecte sur les écrans et de bonne humeur ! Un énorme merci à vous deux !

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé mes études, un peu comme des « grands frères et sœurs » qui m'ont conseillés, relue et/ou rassurés : Rémi CORBINEAU, David AOUSTIN, Aurélie REINBOLT, Elsa NEVEU, Grégory GAUCHER, Christophe VASCHALDE, Sylvain BURRI, Lisa SHINDO, Sandrine PARADIS-GRENOUILLET, Carine CENZON ; des thésards de même « génération » où ensemble nous avons partagé nos joies, nos espoirs et nos doutes aussi, et dont les réunions annuelles des doctorants donnaient un coup de boost : Guillaume BECKERT, Lucie BÉNÉTEAU, Laura LEGOFF, Sammy et Théo BEN MAKHAD, Hervé DUVAL,

Jorge CALVO GÓMEZ, Mélissa TIREL, Malina ROBERT... Et bien sûr je ne peux pas oublier les « petits frères et sœurs » : Corentin OLIVIER, Valentine COMBEAU, Lydiane GANTIER, Rémi RÊVE, Guillaume CONTINI, Mathilde LAGARDE..., tous animés par une grande motivation.

Bien sûr, ce rythme aurait été plus compliqué à tenir pour moi sans les encouragements indéfectibles, les relectures, la patience et l'amour de mes proches. Je ne pourrais les citer tous ici mais ils se reconnaîtront : Marina, Marion, Béa et Thomas, Guillaume et Océane, Christian, mes parents, mon frère et ma mamie, ma belle-famille Jean-Michel et Nicole, Clément et Anaïs, Mathieu et Charlotte, et à toi mon Rémi (bientôt ton tour).

* * *

Ce travail a été financé par l'Université du Maine après l'obtention d'un contrat doctoral de la Région Pays de la Loire pour les années 2014-2017.

Diverses aides financières, tant pour les déplacements que pour l'assistance à des colloques nationaux et internationaux ont été allouées par le Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CReAAH, UMR 6566 - Sites Université du Maine et Université de Rennes 1), sous la tutelle du Centre national de la recherche scientifique (CNRS, Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche), ainsi que des crédits financés par l'École Doctorale Sociétés, Temps, Territoires (STT), anciennement Science Cultures, Échanges (ED496 SCE).

Suite à un appel à projets, l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (OSUR) a accordé le financement des observations et photographies réalisées au microscope électronique à balayage (MEB) auprès du Centre de Microscopie Électronique à Balayage et microAnalyse (CMEBA – Rennes 1).

Enfin, en 2018, l'AAP 8 diffusé par le CPER LLSHS « DI2L2S - Développement et Internationalisation des Lettres, Langues, Sciences humaines et Sociales en Pays de la Loire » a aidé à la mise en place du projet « RAVAGEURS » dans un soutien pour la mobilité sortante, pris en charge et gérés directement par la MSH Ange Guépin (Nantes). Ce projet a permit la réalisation d'ateliers et de sorties de terrain en Italie (Padova) dans le but de récolter des espèces xylophages actuelles[1].

* * *

[1] Dont on détaille la démarche dans le chapitre II, partie III.

ABRÉVIATIONS ET CONVENTIONS

Liste des abréviations utilisées dans le corps du texte, les notes de bas de page ou la bibliographie

Institutions, laboratoires et associations

AMU	Aix-Marseille Université
BNF	Bibliothèque nationale de France
CCJ	Centre Camille Jullian
CEPAM	Cultures et environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge
CEREGE	Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement
CICRP	Centre Interrégional de Conservation et Restauration du Patrimoine
CMEBA	Centre de Microscopie Électronique à Balayage et microAnalyse
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CReAAH	Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CTBA	Centre Technique du Bois et de l'Ameublement
IGN	Institut national de l'information géographique forestière
IMBE	Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale
INPN	Inventaire national du patrimoine naturel
INRA	Institut national de la recherche agronomique
INRAP	Institut national de recherches archéologiques préventives
MSH	Maison des Sciences de l'Homme
MMSH	Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme
MNHN	Muséum national d'Histoire Naturelle
ONF	Office National des Forêts
OSUR	Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes
SAPVF	Service Archéologique et Patrimoine de la Ville de Fréjus
SRA	Service Régional de l'Archéologie

Autres abréviations

AMS	Acceleration mass spectrometry
BC	Before Christ
BF	Bois final
BI	Bois initial
BL	Belles Lettres
BP	Before present
BSR	Bulletin Scientifique Régional
CAG	Carte Archéologique de la Gaule
COV	Composé organique volatil
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DFS	Document final de synthèse

MEB	Microscope électronique à balayage
NMI	Nombre minimum d'individu
PCR	Programme Commun de Recherche
RFO	Rapport final d'opération
SIG	Système d'information géographique
UMR	Unité mixte de recherche
US	Unité stratigraphique

Mots abrégés

av. J.-C.	avant Jésus Christ
apr. J.-C.	après Jésus Christ
champ.	champignon
cl.	cliché
coll.	collaboration
coord.	coordonné par
dir.	Dirigé par (le nom de l'auteur qui précède)
éd.	Edition sauf si suivit d'un nom propre en majuscule : éditeur(s) scientifique(s)
Fig.	Figure(s)
gal.	galerie
Indet.	Indéterminé
mém.	mémoire
nb.	nombre
p.	page
pl.	planche(s)
plvt	prélèvement
pp.	pages
réal.	réalisation
rééd.	réédition
reprod.	reproduction
suppl.	supplément
tabl.	tableau
trad.	traduction
vol.	volume

Abréviations et locutions latines

al.	« Et les autres », lorsqu'un ouvrage comprenant au moins trois auteurs
cf.	*confer* : voir
etc.	*et cetera* : et tout le reste
in	dans
infra	ci-dessous
in situ	sur place
supra	ci-dessus

Conventions

Les noms scientifiques latins des essences* ligneuses suivent la nomenclature internationale de botanique : les noms de famille*, sous-famille et genre* avec une majuscule et en italique (*Fabaceae, Quercus*) et les noms d'espèce* seulement en italique (*coccifera*).
Les noms scientifiques latins des espèces d'insectes suivent la nomenclature internationale de zoologie : les noms de famille avec une majuscule seulement (Cerambycidae), les noms de sous-famille et de genre avec une majuscule et en italique (*Cossoninae* ; *Anobium*) et les noms d'espèces seulement en italique (*castaneum*). La dénomination latine d'une espèce est écrite, au moins la première fois de son apparition dans le texte, en entier (*Anobium punctatum*), mais peut être par la suite raccourcis en indiquant uniquement l'initial du genre (*A. punctatum*).
Les références bibliographiques au fil du texte sont en note de bas de page pour plus de lisibilité.
En bibliographie sont notés tous les ouvrages consultés et lus pour rédiger et agrémenter le discours. Sont séparés les ouvrages spécialisés de type référentiel : anatomie du bois, systématique des insectes..., des traductions des Belles Lettres des auteurs grecs et romains, de la bibliographie générale.
Les mots précédés d'une * lors de leur première mention ont une définition dans le glossaire, page 481.
Les chiffres de un à dix sont écrits en lettre. À partir de 11, ils sont en chiffre, sauf lorsqu'ils débutent une phrase.
Toutes les figures et les tableaux sont de l'auteure, sauf mention contraire.

Afin de mieux les faire ressortir du texte les noms de personne (chef d'opération, spécialistes...) sont notés en PETITE MAJUSCULE.

Les mesures des unités de vermoulure sont présentées avec quatre chiffres après la virgule, pour faciliter la distinction entre les différents stades larvaires, non visibles si la précision décimale est moindre.

Les figures, les tableaux, les planches (MEB et d'illustrations) et les fiches (d'enregistrement) suivent une numérotation continue par type tout au long du texte et des annexes contenues dans le volume II. La première exception concerne le volume III qui est entièrement à part. La deuxième exception concerne les catalogues d'objets (site de Rezé et objets de collection muséale, formant des annexes distinctes avec des planches numérotées à part également.

Le volume III, étant considéré comme un outil de travail, un atlas, les figures et les planches ne sont pas prises en compte dans la numérotation précédente.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS....1
ABRÉVIATIONS ET CONVENTIONS....9
SOMMAIRE....13
INTRODUCTION GÉNÉRALE....19

- CHAPITRE I – LE BOIS OUVRAGÉ : ÉTAT DE LA QUESTION 25

INTRODUCTION....27
I. DE L'ARBRE VIVANT À LA MATIÈRE PREMIÈRE : GESTION ET CHOIX DU BOIS....29
A. RESTITUER L'ENVIRONNEMENT, UN PAYSAGE....29
1. Les recherches paleoenvironnementales hors sites archéologiques....29
2. Les indices issus des sites archéologiques : l'apport des archéosciences....30
B. LE CHOIX, LA COUPE ET LE TRANSPORT DU BOIS DURANT L'ANTIQUITÉ EN GAULE....35
1. Les propriétés du bois....35
2. Du choix de l'essence à l'abattage des grumes....38
3. Le transport et le commerce du bois....42

II. LES TECHNIQUES DE TRAVAIL DU BOIS.....46
1. Les outils....46
2. Les techniques de débitage et d'assemblage du bois....47

III. LES INSECTES DU BOIS ET L'HOMME : UNE RELATION COMPLEXE....51
A. LA PLACE DES INSECTES DANS LES SOURCES ANTIQUES....51
1. De rares représentations figurées....51
2. Insecte : une terminologie antique....53
3. Les familles et espèces citées dans les textes....55
4. Se protéger des ravageurs durant l'Antiquité....62
5. Les champignons lignivores....66
B. LES RAVAGEURS DU BOIS AUJOURD'HUI : CONNAISSANCES, TRAITEMENTS ET CONSERVATION DU PATRIMOINE....68
1. Les insectes xylophages....68
2. Détections, traitements et restauration des bois....71
3. Les outils d'aujourd'hui pour comprendre les infestations d'hier....74
CONCLUSION....75

- CHAPITRE II – ÉTUDIER ET ÉVALUER L'ÉTAT SANITAIRE DU BOIS ARCHÉOLOGIQUE : MÉTHODOLOGIE 77

INTRODUCTION....79
I. L'ENREGISTREMENT DES DONNÉES : PROTOCOLES DE PRÉLÈVEMENTS SUR LE TERRAIN....81
A. PRÉLEVER LE BOIS OUVRAGÉ.....81
1. Les bois gorgés d'eau....81
2. Les bois et les structures carbonisés....83
B. PRÉLEVER D'AUTRES TYPES DE STRUCTURES....84
C. PROBLÈMES LIÉES AU PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS SUR LE TERRAIN....86
1. Logistique et orientations de la recherche....86
2. Observations et enregistrements....87
3. Prélèvements et conditionnements....88

II. MÉTHODOLOGIE D'OBSERVATION AU LABORATOIRE....90
A. OBSERVER ET IDENTIFIER LE CHARBON DE BOIS ET LE BOIS GORGÉ D'EAU....90
1. Préparation de l'échantillon....90
2. Identification des essences et conventions de dénomination....93
B. GALERIES, VERMOULURES ET CHAMPIGNONS : DE NOUVELLES INFORMATIONS....95
1. Pourquoi observer les traces des insectes xylophages et des champignons lignivores ?....96
2. Observations et enregistrements des traces des ravageurs lignivores....100
a. Outils 100
b. Comment observer les galeries ? 101
c. Comment observer les vermoulures ? 103
d. Comment observer les champignons ? 104
C. PROBLÈMES LIÉES À L'ANALYSE ET AU CONDITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS XYLOLOGIQUES ET ANTHRACOLOGIQUES....106

III. CRÉATION D'UN RÉFÉRENTIEL : LES TRACES DES INSECTES XYLOPHAGES ET AUTRES ARTHROPODES* LIGNIVORES....108
A. UNE COLLECTION ACTUELLE DE RÉFÉRENCE....108
1. À partir de bois récents....108
a. Sélection des échantillons 108
b. Observations et mesures statistiques 110
2. Du bois au charbon de bois : une expérimentation....119
a. Objectifs de l'expérimentation 119
b. Déroulement des expériences 119
c. Résultats des expériences 121
B. CONSTRUCTION D'UNE CLÉ D'IDENTIFICATION DES TRACES D'INSECTES XYLOPHAGES....128

CONCLUSION....129

CHAPITRE III – LES SITES ARCHÉOLOGIQUES ÉTUDIÉS : UN CORPUS HÉTÉROGÈNE 131

INTRODUCTION....133
I. LES ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES ET XYLOLOGIQUES ÉTUDIÉS AVEC LA MAÎTRISE DES PRÉLÈVEMENTS....135
A. LA FOUILLE PRÉVENTIVE DE L'ÎLOT CAMELIN, FRÉJUS, VAR (27 AV.-50 APR. J.-C.)....135
1. Présentation du site....135
2. Contexte de l'étude anthracologique....146
B. LE SITE PORTUAIRE DE SAINT-LUPIEN, REZÉ, LOIRE ATLANTIQUE (IER-IIIE APR. J.-C.)....147
1. Présentation du site....147
a. Localisation et contextes naturels 147
b. Brève histoire de la recherche 148
c. Phasage général 149
2. Contexte de l'étude anthracologique....152
C. L'HABITAT RURAL GALLO-ROMAIN DU COL D'ADON, LES MUJOULS, ALPES-MARITIMES (IER-IIE SIÈCLE APR. J.-C.)....153
1. Présentation du site....153
a. Localisation et contextes naturels 153
b. Historiographie de la recherche 156
c. Zones d'investigations 157
2. Contexte de l'étude anthracologique....159

II. LES ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES ET XYLOLOGIQUES ÉTUDIÉS SANS MAÎTRISE DES PRÉLÈVEMENTS....162
A. LE QUARTIER DES ENTREPÔTS DU SITE DE LE FÂ, BARZAN, CHARENTE-MARITIME (70-110 APR. J.-C.)....162
1. Présentation du site....162
2. Contexte de l'étude....165
B. LE QUARTIER DE L'ÉCOLE DES POIRIERS, FRÉJUS, VAR (DÉBUT DU IER S. AU VIE S. APR. J.-C.)....166
1. Présentation du site....166
2. Contexte de l'étude....168

III. ANALYSES ENTOMOLOGIQUES APPLIQUÉES À L'ANTHRACOLOGIE OU LA XYLOLOGIE APRÈS ÉTUDES D'UN TIERS....171
A. LES REJETS D'UNE CUISINE À *CASSINOMAGUS*, CHASSENON, CHARENTE (IER SIÈCLE APR. J.-C.)....171
1. Présentation du site....171
2. Contexte de l'étude....174
B. LA FOUILLE INRAP DU COUVENT DES JACOBINS, RENNES, ILLE-ET-VILAINE (IER-IIE SIÈCLE APR. J.-C.)....174
1. Présentation du site....174
2. Contexte de l'étude....177
C. LE BÛCHER FUNÉRAIRE AU LIEU-DIT « MAISON-BLANCHE - CHAMP ROCHE » DE LA ZAC DES MONTELS III, CEBAZAT, PUY-DE-DÔME (IIE SIÈCLE APR. J.-C.)....179
1. Présentation du site....179
2. Contexte de l'étude....181
D. LE COMBUSTIBLE DU FOUR À CHAUX DANS « LE THÉÂTRE » DE CHÂTEAUBLEAU, SEINE-ET-MARNE (IVE SIÈCLE APR. J.-C.)....181
1. Présentation du site....181
2. Contexte de l'étude....183

IV. LES COLLECTIONS DES MUSÉES ET D'INSTITUTIONS....184
1. Les objets restaurés par Arc'Antique....184
a. Présentation du laboratoire 184
b. Les sites étudiés 185
2. Les objets des réserves de Musées....185

CONCLUSION....187

CHAPITRE IV – L'ÉTAT SANITAIRE DES BOIS OUVRAGÉS : ÉTUDES DE CAS....191
INTRODUCTION....193

I. LE PLANCHER CARBONISÉ DU QUARTIER DES ENTREPÔTS DE BARZAN, LE FÂ (70-110 APR. J.-C)....194
A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES....194
B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES....195
1. Analyse anthracologique....195
2. Analyse entomologique appliquée aux charbons de bois....198
C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE....202

II. LES BOIS DE LA FOUILLE DU COUVENT DES JACOBINS, RENNES (IER-IIIE SIÈCLE APR. J.-C.)..204
A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES....204
1. Les structures de l'îlot 1....204
2. Les structures de l'îlot 2 et 3....209
B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES....212
1. Analyse anthracologique....212
2. Analyse entomologique appliquée aux charbons de bois....213
a. Résultats généraux 213
b. Résultats par US 215
C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE....222

III. LES BOIS OUVRAGÉS DU SITE DU COL D'ADON, LES MUJOULS (IER –IIIE SIÈCLE APR. J.-C.).....
....226
A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES....226
1. Les espaces 3 et 4....229
2. L'espace 5....230
B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES....234
1. Résultats généraux....234
a. L'analyse anthracologique 234
b. L'analyse entomologique 238
2. Résultats bruts détaillés par structure....245
a. L'US 4002 245
b. US 4021 246
c. US 4030 246
d. La structure 4032 247
e. US 4048 248
f. US 4051 248
g. Le linteau 4070 249
h. US 4090 249
i. US 4094 254
j. US 4095 255
C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE....257

IV. UNE ÉTUDE SUR DES BOIS GORGÉS D'EAU : L'AMÉNAGEMENT DES BERGES À *RATIATUM*, REZÉ SAINT-LUPIEN....265
A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES....265
B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES....273
1. Analyse xylologique et dendrochronologique....273
a. Les pieux 273
b. Le quai CAI 9 281
2. Analyse xylo-entomologique....285
a. Résultats généraux 285
b. Résultats détaillés par secteur 291
C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE....305
1. L'état sanitaire des premiers aménagements de berges....305
2. L'état sanitaire de la phase monumentale des quais....309
3. Une forte proportion de bois sains ?....310
4. 2000 ans plus tard : l'attractivité des bois toujours active....311

V. LES PLANCHERS ET BOIS OUVRÉS CARBONISÉS DE L'ÎLOT CAMELIN, FRÉJUS (27 AV. J.-C. – 50 APR. J.-C.)....312

A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES : PRÉSENTATIONS DES ÉCHANTILLONS.....312
1. US 1006.....313
2. US 1078.....314
3. US 3007.....315
4. US 3021.....316
5. US 3229.....316
6. US 3248.....317
7. US 3329.....317
8. US 3495.....317
9. US 3527.....318
10. US 3585.....319
11. US 3766.....320
12. US 3775.....320
13. US 3969.....322
B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES.....322
1. Résultats généraux.....322
a. Les données dendrochronologiques : tests d'analyses 322
b. L'analyse anthracologique 323
c. L'approche entomologique sur les bois ouvragés 327
2. Résultats bruts détaillés par structure.....331
a. US 1006 331
b. US 1078 333
c. US 3007 334
d. US 3021 337
e. US 3229 338
f. US 3248 339
g. US 3329 339
h. US 3495 339
i. 3527 343
j. 3585 345
k. 3766 346
L. 3775 349
M. 3969 359
C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE.....359

CONCLUSION.....375

- CHAPITRE V – L'ÉTAT SANITAIRE D'AUTRES TYPES DE BOIS : ÉTUDES DE CAS.....379
INTRODUCTION.....381

I. LES PETITS OBJETS DES MUSÉES : TESTS D'APPLICATION POUR UNE CONSERVATION DU PATRIMOINE LIGNEUX*.....382
A. LES OBJETS EN BOIS DU CARRÉ PLANTAGENET (LE MANS, 72).....382
B. LES OBJETS EN BOIS DU MUSÉE DOBRÉE (NANTES, 44).....383
C. LES OBJETS EN BOIS RESTAURÉS PAR ARC'ANTIQUE (NANTES, 44).....389
1. Les objets en bois gorgés d'eau de la Porte-Allain, Trégueux (22) (IIIe-Ier siècle av. J.-C.).....389
2. Un problème de conservation des bois d'Alésia, Alise-Sainte-Reine (IIe–Ier av. J.-C.).....394

II. LE SITE DE LA ZAC DES MONTELS III - MAISON BLANCHE - CHAMP ROCHE, CÉBAZAT (63) : ÉTAT SANITAIRE DES CHARBONS D'UN BÛCHER FUNÉRAIRE DU IIE S. APR. J.-C......397
1. Données brutes.....397
a. Présentation du bûcher 2426 397
b. Résultats anthracologiques 399
c. Résultats entomologiques 399
2. Hypothèses et interprétations.....401

III. TESTS SUR DES BOIS DE FEUX DE CUISINE ET DE FOYERS DOMESTIQUES.....403
A. LES REJETS DE COMBUSTION DE CHASSENON (16) (IER S. APR. J.-C.).....403
1. Données brutes.....403
a. Présentation des rejets de cuisine 403
b. Analyse anthracologique et entomologique 404
2. Hypothèses et interprétations.....407

B. LE FOYER DES THERMES DES POIRIERS (83) (90-230 APR. J.-C.).....408
1. Données brutes.....408
a. Présentation des foyers 408
b. Résultats anthracologiques et entomologiques 409
2. Hypothèses et interprétations.....411

IV. ÉTAT SANITAIRE DES BOIS DE COMBUSTION : LES FOURS.....412
A. LES FOURS DE L'ÎLOT CAMELIN (83) (27 AV.-50 APR. J.-C.).....412
1. Données brutes.....412
a. Présentation des fours 412
b. Résultats anthracologiques et entomologiques 416
2. Hypothèses et interprétations.....423
B. LES FORGES DES POIRIERS (83) (90-230 apr. J.-C.).....425
1. Données brutes.....425
a. Présentation des forges 425
b. Résultats anthracologiques et entomologiques 426
2. Hypothèses et interprétations.....428
C. LE FOUR À CHAUX DE SAINT-LUPIEN À REZÉ (44).....430
1. Données brutes.....430
a. Présentation du four 430
b. Résultats anthracologiques et entomologiques 431
2. Hypothèses et interprétations.....433
D. LE FOUR À CHAUX DE CHÂTEAUBLEAU.....434
1. Données brutes.....434
a. Présentation des fours 434
b. Résultats anthracologiques et entomologiques 436
2. Hypothèses et interprétations.....440

SYNTHÈSE CONCLUSIVE DU CHAPITRE.....442

CONCLUSION GÉNÉRALE.....445
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....465
GLOSSAIRE.....483
BIBLIOGRAPHIE.....489

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le bois* est un matériau à la fois comestible, inflammable, naturel, renouvelable et biodégradable créé par « l'usine biologique qui est la forêt »[2]. Il est aussi l'une des matières premières essentielles à la construction et se façonne sous de multiples formes : charpente, plancher, paroi verticale, clayonnage, poteau*, poutre*, ossature d'un bâtiment, meubles, objets d'art ou petits objets du quotidien..., ce qui participe à en faire un secteur clé de l'économie et de l'environnement au sein d'une société actuelle ou passée.

Néanmoins, dans les manuels d'architecture notamment, c'est bien la pierre qui semble dominer tous les aspects de la construction romaine : des habitations aux thermes en passant par les aqueducs, les sols et les routes. De même, bon nombre de publications et de monographies traitent de ce matériau minéral et présentent des données, parfois en quantité importante, sur les petits et grands appareils en pierre, en brique[3]... Mais qu'en est-il du bois ? Contrairement à ces idées reçues, les Romains ont en pourtant été de grands consommateurs. En effet, certains auteurs antiques en font état : Théophraste pour les Grecs et Vitruve ou encore Pline l'Ancien pour les Romains. Dans la littérature savante, le bois est ainsi un élément perçu à travers diverses essences qui sont citées et parfois décrites. Ces dernières sont choisies selon leur future fonction dans l'architecture et en raison de leurs propriétés mécaniques plus ou moins bien connues. Cette connaissance des propriétés des différentes essences sous-entend une certaine gestion de la forêt, ainsi qu'une certaine connaissance de la chaîne opératoire technique du travail du bois et un choix réfléchi dans son utilisation[4]. Ces clichés sont petit à petit démantelés par l'avancée de la recherche en archéologie[5] en France, et dans le reste de l'Europe, notamment grâce aux études dans les lacs Suisses. Le bois étant périssable, il n'est conservé, sous nos latitudes, que sous deux formes : gorgé d'eau (xylologie) ou carbonisé (anthracologie). Ainsi, l'attestation de bois sur un site archéologique et sa compréhension sont pleinement dépendantes des investigations menées sur le terrain, de la qualité de conservation des vestiges, des effets de fouille et de l'intérêt porté à cette thématique.

En archéologie, l'intérêt pour ce matériau en France connaît un essor important depuis les années 1970-80, en particulier avec le développement et la pratique de l'archéobotanique et plus particulièrement de l'anthracologie[6]. Avant cette période, les bois mis au jour étaient

[2] DIROL, DEGLISE 2001.
[3] ADAM 1989 ; EXCOFFON 2003 ; VISCOGLIOSI 2008.
[4] *Cf.* CHAPITRE I, page 35.
[5] GRENIER 1957 ; GALLAY 1982 ; LASFARGUES 1985 ; DUVAL 1989 ; PAUNIER *ET AL.* 1989 ; ARCELIN *ET ALI* 1995 ; BEAL 1995 ; CHENORKIAN 1996 ; GOUDINEAU 1998 ; PACCOLAT 1998 ; ARNAUD, GAZENBEEK 2001; ARNAUD 2002 ; ALPHONSINE 2003 ; GALLAY *ET AL.* 2006 ; BENKERT, EPINEY-NICOUD 2008 ; LEVEAU, RÉMY 2008 ; LEVEAU *ET AL.* 2009.
[6] VERNET 1972 ; 1994 ; VERNET *ET ALI* 2001 ; JACQUIOT *ET AL.* 1973.

plus particulièrement étudiés, outre l'anatomie[7], sous l'angle de la datation via la dendrochronologie, mais excluaient les bois carbonisés. Lorsqu'un archéologue mentionne la découverte de bois dans une fouille, il note le plus souvent « bois », « structure carbonisée » ou « matériaux périssables », quelquefois il précise « chêne » ou « pin », sans parfois pouvoir ou savoir comment aller plus loin[8]. L'augmentation du nombre de fouille préventives amenant la formation d'un corps d'archéologues professionnels en dehors des milieux universitaires et des laboratoires de recherche sur l'ensemble du territoire a conduit à engranger de plus en plus de données sur le bois associées à l'amélioration des techniques de fouille, de prélèvement, le développement de la microscopie appliquée, la connaissance de l'anatomie du bois et des écosystèmes... Cette documentation fournit des informations sur les liens existants entre les populations et leur environnement végétal pour une période donnée.

Les études du bois de construction, carbonisé ou non, sont parfois délaissées ou ne présentent pas d'intérêt autre que le seul fait de savoir quel bois a été utilisé. Ce type d'approche ne conduit pas à délivrer d'informations représentatives afin reconstituer l'environnement écologique d'un site[9], contrairement à une étude paléoenvironnementale classique ou une analyse de niveaux de circulation[10]. Toutefois, l'attestation de telle ou telle essence souligne une activité, un choix, une provenance et des gestes humains qui peuvent être difficiles à appréhender par le seul biais de l'archéologie et de la bioarchéologie.

C'est à ce moment-là que l'entomologie entre en ligne de compte pour notre problématique. Lorsqu'elle est appliquée à l'archéologie, ce qui, il faut le souligner est loin d'être systématique, cette discipline étudie et identifie les restes d'insectes préservés selon certaines conditions, notamment d'humidité du terrain[11]. Elle participe, grâce à la connaissance des assemblages* d'insectes, à la restitution des paysages et de l'environnement en général et offre selon les contextes, des interprétations sur l'état des céréales stockées ou encore des pratiques funéraires[12]. Dans notre cas, l'intérêt se porte exclusivement aux insectes dits « xylophages* »[13]. Considérés comme des nuisibles, il en existe actuellement en France près de 600 espèces différentes possédant chacun une biologie et une écologie qui lui est propre. En parallèle, dans le domaine de la conservation du patrimoine (CICRP, Arc'Antique), une problématique entomologique doit être prise en compte : la dégradation, voire la destruction, de certains objets ou de collections de bois patrimoniaux ou archéologiques par des insectes[14]. Au sein des collections des musées, un des rares remèdes utilisés jusque dans les années 1950 était la surveillance de ces collections afin de limiter les dégâts*. Par la suite, notamment avec l'apparition des insecticides organo-chlorés et autres[15] et surtout la conscience de leur toxicité pour l'homme, l'intérêt porté aux insectes xylophages, aux champignons lignivores et à leur connaissance se sont accrus dans le but de mieux

[7] SCHWEINGRÜBER 1990 par exemple.
[8] GINOUVÈS *ET AL.* 1985.
[9] Les données anthracologiques (ou xylologiques) sont souvent dans l'ordre de la monospécificité des essences ligneuses utilisées dans la construction d'une structure.
[10] *Cf.* Chapitre II, page 84.
[11] PONEL, YVINEC 1997 ; MORET 1998 ; PONEL 2007.
[12] Travaux de Jean-Bernard HUCHET par exemple.
[13] MARTINEZ 2008.
[14] C'est également une affaire de plus large ampleur qui concerne les insectes s'attaquant aux peintures, aux tissus et broderies de divers siècles... Dans notre cas, nous restons focalisés sur les éléments en bois.
[15] *Cf.* Chapitre I, page 71.

préserver le patrimoine ligneux tout en éliminant la menace des ravageurs*. Ainsi, au-delà des musées, ces méthodes s'ouvrent et s'adaptent à différents supports (charpentes anciennes *in situ*, pièces d'orgue dans une église, meubles et architecture actuels, épaves sous-marines...). Quelques rares travaux (G. A. GAMBETTA 2010 pour l'Italie, les travaux de BLANCHETTE 1991 et ceux de PITMAN *ET AL.* 1993 en Angleterre sur les infestations des années 1990 du navire The Mary Rose daté du XVIe s. ; le CTBA et l'INRA pour la France et L. BOBADILLA *et al.* 2015 pour l'Espagne) ou mentions (LEPESME ; FAUNA IBERICA) soulignent l'importance ou la spécificité des traces que laissent les larves d'insectes xylophages dans le bois, à savoir les galeries* et les vermoulures*.

Ainsi, au fil des analyses anthraco-xylologiques, l'observation de ces traces tantôt sur du bois carbonisé, tantôt sur du bois gorgé d'eau a fait émerger une thématique nouvelle qui fait l'objet de la présente recherche.

C'est ainsi que le bois ouvragé gallo-romain est abordé sous différents aspects et à partir d'une approche interdisciplinaire alliant Science de l'Homme et de la Société et Sciences biologiques. La recherche est centrée autour de deux questions principales : y a-t-il des usages et une gestion spécifique du bois de construction dans les sociétés anciennes et par voie de conséquence peut-on approcher au mieux la chaîne opératoire technique qui préside à l'utilisation du bois de construction depuis la coupe jusqu'à l'emploi dans le bâti durant l'Antiquité ? Quel est l'état sanitaire du bois ouvragé à l'époque romaine ?

Pour comprendre la mise en œuvre des bois ouvragés, la recherche s'est fixée deux objectifs principaux : tout d'abord, l'identification des essences utilisées dans la construction et en comprendre les choix éventuels selon qu'il provient d'un milieu rural ou urbain ou de tel ou tel type de construction, puis en apprendre plus sur les savoir-faire liés au bâti (type de bâtiments, de structures, formes utilisées…). Il s'agit aussi de savoir si les bois usités sont d'origine locale ou exogène et éventuellement de repérer les circuits commerciaux et d'échange. Sur le plan archéologique, l'étude de la chaîne opératoire du travail et de la mise en œuvre du bois est une question intéressante qui aide à appréhender une partie de l'histoire des techniques ainsi que les phénomènes liés à la consommation et au fonctionnement des sociétés. Ainsi, peut-on s'intéresser aux influences politiques administratives, culturelles liées ou non à une population gauloise, avant ou après la conquête romaine..., et si elles sont visibles au sein des choix et de gestion du bois ouvragé.

Le second objectif est d'appréhender l'état sanitaire du bois lors de son utilisation par les populations. Avec l'apport de l'entomologie et la connaissance de la bio-écologie des espèces xylophages, les utilisations spécifiques du bois tels que le bois ouvragé prennent un sens nouveau au-delà de la description des essences. En effet, il est possible grâce à cette approche de tenter de mieux cerner le moment de l'infestation du bois : avant la coupe de l'arbre, lors d'une phase de stockage ou après sa mise en place dans l'architecture. Elle vise également à mettre en évidence certains gestes comme le réemploi ou la protection[16] du bois par les populations et à comprendre comment ces ravageurs étaient perçus.

Le bois peut être utilisé dans plusieurs domaines : le funéraire pour la fabrication de bûcher funéraire, pour alimenter les foyers artisanaux en tant que combustibles, pour

[16] Badigeon d'un produit par exemple.

fabriquer les objets du quotidien, outils, meubles, étagères, pour construire les bâtiments (plancher, charpente, linteau, quai...). Face à cette situation, nous avons pris le parti d'élaborer et d'établir en priorité une méthodologie de reconnaissance des traces d'insectes sur le bois dit ouvragé. Ce dernier concerne pour ce travail, les bois utilisés dans l'architecture des édifices publics (quais, entrepôt) ou privés (habitation), tels que les planchers, les éléments de charpente, les poteaux et les linteaux. La raison de ce choix est que les structures prélevées et analysées sont de grandes dimensions, formant des fragments de charbons de plusieurs centimètres pour lesquels il est alors plus aisé de repérer et de ne pas sur-interpréter une galerie d'insecte. C'est grâce à ce parti-pris que la méthodologie a été élaborée. De plus, ces structures se situent, la plupart du temps, dans un contexte archéologique bien défini, dessinant une zone scellée et préservée[17].

Le bois ouvragé peut également désigner un bois travaillé, façonné tels que les objets. L'étude anthraco-xylologique et archéo-entomologique a porté sur ce type d'artefact, mais elle leur a accordé une place particulière en raison de leurs contextes de découverte qui ne sont pas aussi bien définis que ceux les structures. Retrouvés dans des zones humides comme les puits, ces objets peuvent se trouver en position secondaire en y ayant été jetés. Néanmoins, des tests méthodologiques ont été effectués sur divers types d'objets (Chapitre V).

Par ailleurs, l'architecture navale n'a pas été intégrée au sein de ces études. En effet, en raison de leur fonction et de leur contexte archéologique, les épaves pouvaient être potentiellement infestées par la faune xylophage aquatique[18]. Cette faune, très différente et autrement plus complexe que les xylophages terrestres a été tout juste explorée pour ce travail et offre de futures perspectives d'analyses et d'interprétations différentes[19]. C'est pourquoi, dans le cadre de cette recherche, les efforts se sont quasi uniquement concentrés sur la faune terrestre qui a été traitée en détail, et plus particulièrement les coléoptères spécifiques au bois ouvragé.

L'état sanitaire du bois affecte sa résistivité en transformant ses propriétés mécaniques. Cet état de fait se traduit aussi visuellement par la présence ou l'absence d'insectes xylophages et de champignons lignivores qui interviennent à différent moments de la vie de l'arbre ou du travail du bois.

À l'inverse des propriétés bioécologiques des essences ligneuses et des insectes, il est à noter que ni l'anatomie du bois (les vaisseaux, les rayons...) ni l'anatomie des insectes (les élytres*, les soies...) ne seront détaillées dans le volume texte[20], puisqu'il existe déjà des ouvrages spécialisés sur le sujet (VERNET, SCHWEINGRUBER, JACQUIOT pour le bois, et BERGER et HOFFMANN pour les insectes par exemple).

Ce travail est chronologiquement ancré dans la période romaine, entre la fin du IIe s. av. J.-C. et la fin du IVe siècle apr. J.-C., avec toutefois une majorité d'étude de sites datés entre le Ier et le IIe s. de notre ère, conséquence d'un corpus disponible et accessible. En effet, il a paru intéressant de s'intéresser à une période encore plus dépourvue de textes que la période

[17] Particulièrement dans le cas d'une structure carbonisée.
[18] Actuelle ou ancienne, mais dont la différentiation est, à l'heure actuelle, impossible.
[19] PALMA, SANTHAKUMARAN 2014 ; *Cf.* Volume III, page 153.
[20] L'anatomie des essences ligneuses identifiées se trouve en Annexe xx et les insectes de la collection sont décrits brièvement dans le volume III où ils possèdent une fiche de description individuelle.

médiévale et a fortiori les périodes postérieures, où les études sur les bois et les constructions en bois (pans de bois, charpentes) sont bien avancées. À la différence des périodes antérieures (Protohistoire, Préhistoire), la période romaine présente l'intérêt de pouvoir s'appuyer aussi sur la littérature savante et ainsi de pouvoir confronter les données acquises par l'archéologie et les analyses postérieures développées et celles provenant du dépouillement textuel. Dans cette perspective, il a été entrepris le recensement de toutes les mentions de ravageurs liés au bois.

L'élaboration du corpus d'étude a été tributaire de l'existence et de la disponibilité à l'étude de bois ouvragés gallo-romains consécutivement aux prélèvements effectués durant la phase d'opération archéologique. À l'heure actuelle, il n'existe pas de base de données générale pour répertorier les traces de bois ouvragés en France pour la période antique. C'est pourquoi il a été décidé de ne pas se cantonner à une seule région, mais d'élargir l'emprise géographique du corpus à l'ensemble de la Gaule romaine.

Dès le début de ce travail, l'une des principales difficultés a résidé dans l'absence de mentions relatives aux traces d'insectes dans le bois archéologique et donc de support bibliographique. Les informations obtenues auprès des chercheurs, enseignants et spécialistes, attestaient la présence de « trous » et plus rarement de « galerie », obligeant l'adoption d'une terminologie précise pour faire un premier tri. Mais il n'y a, à notre connaissance, mise à part une exception[21], aucun travail publié sur cette thématique. Cette absence de référence et de support s'est révélée être à la fois un atout et un inconvénient. Un atout parce qu'il y a tout ou presque à construire, ce qui rend ce travail inédit, et un inconvénient dans la mesure où ce champ de recherche vierge nécessite des protocoles d'étude fiables devant être validés scientifiquement et ne pouvant pas être pour l'heure confrontés à d'autres.

La démarche adoptée réside en premier lieu dans la réalisation de la méthodologie de reconnaissance des traces d'insectes à partir d'analyses effectuées sur des individus actuels. Dans un second temps, l'application de cette méthodologie est menée sur du bois archéologique, d'abord avec les bois carbonisés du site du col d'Adon (Les Mujouls, 06)[22] et de Barzan (Le Fâ, 17)[23] puis ceux de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)[24]. Par la suite, nous avons ouvert l'horizon en appliquant et adaptant la méthodologie sur les bois gorgés d'eau du site de Rezé (44)[25]. L'ensemble de l'étude s'est enrichie grâce à l'analyse des bois carbonisés du quartier du couvent des Jacobins (Rennes, 35) et à travers les tests méthodologiques effectuées sur des objets archéologiques de Trégueux (22) et d'Alésia (21)), des objets de collections muséales (Musée Dobrée, Nantes et Carré Plantagenet, Le Mans), de bois de combustion provenant de l'îlot Camelin et de l'école des Poiriers (Fréjus, 83), du théâtre de Châteaubleau (77), de Chassenon (16), de Rezé (44) et de bois en contexte funéraire (Cébazat, 63).

Ce dossier est bâti en cinq chapitres, eux-mêmes subdivisés en plusieurs parties.

[21] Le travail effectué par Vanessa PY dans le cadre de l'étude de Châteaubleau, *cf.* Chapitre V, page 434.
[22] *Cf.* Chapitre III, page 154.
[23] *Cf.* Chapitre III, page 163.
[24] *Cf.* Chapitre III, page 135.
[25] *Cf.* Chapitre III, page 147.

Le premier chapitre est un modeste bilan des connaissances sur le bois ainsi que sur les insectes xylophages. À travers une présentation historiographique et scientifique de ce que l'on connaît de l'arbre puis du bois, les disciplines précédemment énoncées et utilisées dans ce travail sont décrites, de même que les connaissances sur les techniques de travail du bois à l'époque romaine. Un compte rendu des diverses mentions d'insectes xylophages dans les textes antiques est mis en perspective avec les connaissances et les techniques de préservation actuelles.

Ces premiers éléments servent de socle de départ au développement de la méthodologie de reconnaissance des traces d'insectes xylophages développée au sein du chapitre II. Ainsi, ce second volet traite de toute la méthodologie employée au fil des investigations archéologiques de terrain et de laboratoire. Il permet également de poser les questionnements et les problèmes rencontrés au cours de l'élaboration du travail doctoral. Une partie importante de ce chapitre concerne l'élaboration de la clé d'identification des traces de xylophages : choix des échantillons, mesures, caractéristiques microscopiques, *etc*. Par ailleurs, l'investissement capital engagé dans la conception de cette clé s'est traduit par la conception et l'élaboration d'un volume dédié à part (volume III).

Le troisième chapitre est à la fois transitionnel et sert également de base aux chapitres qui lui succèdent. Il concerne la présentation de l'ensemble du corpus archéologique étudié dans ce dossier. Chaque partie concerne un niveau de maîtrise des prélèvements et/ou d'analyse en laboratoire. Chaque site est traité individuellement afin de soulever leurs problématiques respectives d'étude.

Le quatrième chapitre peut être considéré comme un des cœurs principaux de la thèse. En effet, l'ensemble des résultats entomo-anthraco-xylologiques des bois ouvragés, particulièrement liés à la construction, y sont présentés et interprétés. La graduation qui a été adoptée est de présenter le site le moins infesté à celui le plus infesté.

Enfin, comme le bois d'œuvre n'est pas le seul type de bois susceptible d'être découvert lors des opérations archéologiques, il a été jugé nécessaire de réaliser un cinquième chapitre qui traite d'autres types de bois dont l'étude s'est présentée au cours du travail doctoral : bois de combustion ou bois façonnés (objets). L'objectif principal était de tester et d'adapter la méthodologie de reconnaissance des espèces xylophages à d'autres types de bois que les bois ouvragés et ainsi, d'après les informations obtenues, de caractériser et documenter certaines pratiques d'utilisation du bois : bois sain ou non, vert, réemploi, stocké...

Nous espérons, à travers ce travail, apporter de nouvelles perspectives d'étude pour le bois archéologique, carbonisé ou gorgé d'eau.

CHAPITRE I

LE BOIS OUVRAGÉ : ÉTAT DE LA QUESTION

INTRODUCTION

En premier lieu, il convient de faire le point sur les connaissances existantes de la société romaine sur le bois et plus précisément sur le bois d'oeuvre, avec une attention particulière sur son état sanitaire (insectes xylophages). Et donc de mesurer la place que le bois (*lignum, materia*) occupe au sein des mentalités et des constructions gallo-romaines. Ce bilan historiographique repose à la fois sur un bilan des connaissances archéologiques et aussi sur la vision que peuvent offrir les textes des savants de l'Antiquité tels que Vitruve, Théophraste, Pline, Palladius...

Dans ses écrits, Théophraste, philosophe grec des IVe s. et début IIIe s. av. J.-C. et élève d'Aristote, s'intéresse à de nombreux domaines tels que les sciences de la nature, la botanique ou encore la métaphysique. Par ses deux ouvrages : *L'Histoire des Plantes*[26] et *Les Causes des phénomènes végétaux*[27], livre un peu moins connu, Théophraste participe aux fondements de la botanique occidentale. Il s'agit de textes créés à l'origine pour l'enseignement et non pas pour être diffusés au sein d'un public élargi[28]. Vitruve (Ier s. av. J.-C., *De Architectura*, qui résume le savoir romain à partir de son savoir personnel au sujet de l'architecture, des matériaux, des instruments, des travaux, *etc.*)[29] et Pline l'Ancien (Ier début IIe s. apr. J.-C., *L'Histoire Naturelle* composée de 37 volumes) se sont inspirés de l'œuvre de Théophraste. Leurs écrits aident à mieux comprendre comment les matériaux étaient perçus à cette période, leur importance, les choix stratégiques d'une essence par rapport à une autre et voire même dessinent quelques formes d'habitations ou d'éléments d'architecture.

Dans cette perspective, l'attention s'est concentrée d'une part sur les études archéologiques et/ou spécialisées sur le bois (xylologie et anthracologie) réalisées sur des sites et/ou des contextes archéologiques présentant des bois gallo-romains architecturaux, de préférence en lien avec des habitations (Ier s. av. jusqu'au début du IVe apr. J.-C. ainsi qu'un point historiographique et scientifique sur les techniques du travail et des choix du bois. Elle s'est concentrée d'autre part, en parallèle des présentations historiographiques, sur un état des lieux textuel de la place des insectes chez les populations antiques à partir des sources antiques en latin et en grec (Théophraste). Ces citations proviennent essentiellement de traités d'agronomie et sont donc biaisées voire déformées en regard de la réalité : confusions entre les espèces, vision d'agronome ou de savant avec l'impossibilité de savoir s'il allait effectivement sur le terrain pour vérifier ses dires. L'objectif premier de ces ouvrages est d'informer les grands propriétaires de *villa* notamment afin de développer leur économie. Il faut considérer qu'il s'agit d'un minimum de connaissances sur le sujet du bois et des insectes xylophages auquel il est possible d'avoir accès. L'intérêt s'est d'abord porté sur certaines occurrences latines comme le terme « *insecta* » puis, dans un second temps, sur le vocabulaire latin s'est largement enrichi. La recherche s'est déroulée de la manière la plus exhaustive possible à l'aide d'un logiciel qui a repéré les mots clés souhaités en plein texte parmi les éditions choisies de la collection des *Belles Lettres* possédées par la bibliothèque

[26] *Historia Plantarum*, abrégé en *HP*
[27] *Causa Plantarum*, abrégé en *CP*.
[28] AMIGUES 2018 (traduction de Théophraste) ; ROUGIER-BLANC 2011 ; GROS 2006 (traduction de Vitruve).
[29] Principalement le Livre II.

d'Antiquité d'Aix-en-Provence (BIAA)[30]. Le recensement a été initié avec les auteurs classiques les plus connus pour leurs textes sur le bois : Vitruve et Pline l'Ancien[31]. Puis de fil en aiguille, avec les mots relevés par le logiciel dans les textes et dans les commentaires des traducteurs, la recherche s'est étendue aux textes d'autres auteurs latins tels que Palladius, Caton et Varron ainsi qu'aux textes grecs de Théophraste : *CP* et *HP*. Enfin, des vérifications de vocabulaire ont été effectuées grâce au dictionnaire de latin classique Gaffiot numérisé[32].

La première partie fait office de présentation au thème du bois afin d'avoir une idée globale de l'ampleur du sujet et des disciplines en lien avec son étude. Les disciplines plus particulièrement usitées pour ce travail : anthracologie, xylologie et entomologie sont plus détaillées afin de mieux appréhender la méthodologie qui interviendra dans le discours du chapitre II. Cette présentation a comme point de départ « l'arbre » et son environnement et comment il est possible d'obtenir des informations sur ce thème. Il n'est pas question ici d'établir un panorama des paysages gallo-romains pour l'ensemble de la Gaule, d'une part, car ce n'est pas le sujet à proprement parler de ce travail et, d'autre part, parce qu'il s'agit d'une question bien trop complexe par rapport à notre thématique qui ne prend de la pertinence, pour l'heure, qu'à l'échelle d'un site archéologique.

La deuxième partie expose les différentes étapes techniques du travail du bois de construction jusqu'à la conception d'un assemblage solide tel qu'une charpente ou un plancher à travers des indices archéologiques et quelques textes anciens. Ces techniques se rapportent à la théorie pratique des éléments en bois ouvragés qui sont connus à l'heure actuelle et attestés pour les périodes anciennes, notamment l'époque gallo-romaine.

La troisième partie se concentre plus sur l'univers des insectes, sur la place qu'ils tiennent dans les sources antiques (espèces connues, conscience des hommes, manières de s'en débarrasser...) en comparaison avec le monde d'aujourd'hui, la façon dont ils sont perçus, leur fonction, leur nuisibilité..., particulièrement dans le milieu de la protection du patrimoine ligneux (musées, restauration d'objets).

[30] Avec l'aide de Gérald BENIÈRE, Bibliothèque d'Antiquité d'Aix en Provence (BIAA).
[31] Les 32 premiers livres, les suivants parlant de la pierre et du métal n'ont pas été prit en compte.
[32] https://www.prima-elementa.fr/Gaffiot/Gaffiot-dico.html

I. DE L'ARBRE VIVANT À LA MATIÈRE PREMIÈRE : GESTION ET CHOIX DU BOIS

A. RESTITUER L'ENVIRONNEMENT, UN PAYSAGE...

1. Les recherches paléoenvironnementales hors sites archéologiques

Pour ce travail, l'intérêt porte sur l'origine et la provenance du bois utilisé par la suite en tant que bois d'oeuvre. Les premières études présentées, même si elles ne traitent pas du bois d'oeuvre, s'intéressent aux paysages, forestiers ou non et à leur restitution sur une grande échelle de temps. Ce sont les disciplines paléoenvironnementales, que l'on a souhaité séparer des études faites sur sites archéologiques en raison de leurs problématiques s'étendant plus largement à la forêt par exemple qu'une étude spécifique d'un site archéologique.

L'écologie (du grec « *oikos* » : habitat et « *logos* » : science) est une discipline apparue dans la seconde moitié du XXe siècle, mais dont le concept la définissant est plus ancien. E. HAECKEL est l'un des pionniers de la discipline. En 1866, dans son ouvrage *Morphologie générale des organismes*, il décrit l'écologie comme une « science des relations des organismes avec le monde environnant, c'est-à-dire, dans un sens large, la science des conditions d'existence. ». L'étude de l'environnement se veut investigatrice des relations entre êtres vivants et entre les êtres vivants et leur environnement. Pour répondre à ses objectifs, l'écologie applique le principe de détermination par la typologie par essences, espèces, familles, sous-espèces, *etc*.

Ces études « hors sites » sont intéréssantes à prendre en compte car le filtre des divers aménagements de la vie quotidienne y est moins prégnant que sur un site archéologique. Elles offrent ainsi un « meilleur miroir des interactions » homme/milieux[33]. Elles prennent en considération les différentes caractéristiques des plantes (leurs tolérances et leurs besoins), les facteurs édaphiques (composition des sols, porosité, humus, pH...), les facteurs climatiques (précipitations, évaporation, neige, vent, ensoleillement...), les facteurs biotiques (interactions entres les différents organismes végétaux et/ou animaux : effet de groupe, symbiose, parasitisme...), les facteurs anthropiques (défrichement par exemple).

La paléoécologie, d'origine nord-américaine, s'intéresse aux environnements du passé et son principal essor voit le jour après les années 1950. Mais c'est notamment avec la recherche archéologique se basant sur les zones de montagnes, tant pour le Jura, les Pyrénées, les Alpes méridionales que pour les massifs de la basse Provence, dans les années 1990, que le paléoenvironnement devient un outil de collaboration avec l'archéologie. Une approche paléoenvironnementale peut être obtenue, donnant une image du couvert végétal d'un lieu

[33] DOP, GAUTHIER 1928 ; GUILAINE *ET AL.* 1991, 20 ; ADAM *ET AL.* 2005 ; AUBERT 2007.

donné à un instant précis, puis peut, dans un second temps, caractériser l'évolution de la végétation dans le temps[34] pour une aire géographique restreinte.

La palynologie, la pédoanthracologie, l'entomologie des sols[35], la malacologie, la géomorphologie, la dendrochronologie, la géologie, sont autant de disciplines qui interviennent dans la lecture de l'écologie et de la paléoécologie. Leur but est de restituer l'environnement végétal ou animal à grande échelle spatiale et chronologique : tourbières, cours des fleuves[36], limites de la forêt en altitude[37], régionale, ou thématique : sommets montagneux, littoraux, dynamiques hydrographiques, forestiers et aident à caractériser les occupations à une échelle micro-régionale voire régionale et à reconstituer l'histoire de la forêt.

Ces disciplines s'intéressent à la relation entretenue par l'homme, faisant parti de l'écosystème, avec le reste de la nature – celle-ci ne se réduit pas à sa part « naturelle » mais inclut l'environnement construit et façonné par l'homme -ainsi qu'avec tous les éléments qui rendent possibles et conditionnent son existence. Elles illustrent les choix faits par l'homme dans la gestion de son environnement : ouverture d'espace, exploitation forestière, gestion des ressources naturelles, pâturages, champs, les cadastres et toute la legislation qui interviendra ensuite... De ce fait la dimension culturelle est bien présente au sein des populations à travers la perception de la relation à la nature, aux paysages, le rôle de ces paysages dans la construction des identités, dimension esthétique, voire religieuse (implantation d'un site proche d'une source par exemple).

2. Les indices issus des sites archéologiques : l'apport des archéosciences

C'est au cours des années 1960-1965 que l'archéologie rencontre puis s'allie à l'écologie, au départ particulièrement pour les périodes Préhistoriques. Cette dernière fait intervenir la notion de nature, d'environnement et leur anthropisation. Aujourd'hui, ces disciplines forment un domaine d'analyse pouvant être lié à l'archéologie. Ce modèle de travail est devenu assez traditionnel en Europe nord-occidentale : Grande-Bretagne, Allemagne, Danemark et Pays-Bas notamment. En France, cette histoire des paysages a été longtemps régie par les géographes et les historiens avant l'intervention des spécialistes des sciences de la Terre. L'espace hors site fut, pour les achéologues, difficile à appréhender pendant longtemps, et des premiers tests timides ont alors été effectués sur des sites archéologiques avant de s'affirmer petit à petit[38].

- L'anthracologie

Du grec « *anthrax* » *:* charbon et « *logos* » : science, l'anthracologie est une discipline issue de l'archéobotanique étudiant qualitativement et quantitativement les charbons de bois soit en contexte archéologique : anthracologie archéologique, soit dans le contexte d'une

[34] De l'Holocène à l'actuel ; tout le Quaternaire par exemple.
[35] KENWARD, CAROTT 2006 ; KENWARD 2006.
[36] Par exemple : travaux sur la Loire de V. MATHÉ *ET AL.* (Université de la Rochelle).
[37] Par exemple : travaux sur la limite de la forêt alpine de B. TALON (IMBE).
[38] GUILAINE *ET AL.* 1991, 11-30 ; ANDRÉ *ET AL.* 1997.

sédimentation naturelle : pédoanthracologie[39]. Un charbon de bois est un résidu de la combustion incomplète du bois et se conserve naturellement très bien dans n'importe quel type de milieu, humide ou sec, ce qui fait donc de lui un outil d'étude intéressant : il s'adapte à divers domaines de la recherche, et c'est un matériau fiable, car il est régulièrement présent sur les sites archéologiques.

Les objectifs de l'anthracologie sont de restituer, d'une part, la végétation telle qu'elle était au moment de l'occupation du site étudié et autour de celui-ci et, d'autre part, de mieux appréhender l'apport anthropique dans le milieu à partir de la présence de certaines essences typiques traduisant une activité d'origine humaine : l'usage du bois, l'exploitation de la forêt, l'impact de l'homme sur celle-ci par ses activités artisanales ou agricoles, par exemple. Il s'agit d'aider à la restitution de la paléoécologie voire de la climatologie à l'échelle régionale ou micro-régionale à travers l'analyse des anomalies anatomiques du bois. Mais il s'agit aussi de mieux comprendre la croissance du bois, de détecter leurs maladies, de mesurer les taux de cristallisation du charbon. La discipline fonctionne en parallèle avec diverses études du contexte archéologique dans lequel ces macrorestes sont mis au jour : funéraire, artisanat, construction ou encore l'habitat, ce qui élargit les problématiques de l'anthracologie.

Les premières analyses de charbons de bois ont eu lieu dès 1864, par les Suisses et les Allemands. En France, d'abord en 1899, P. DANGEARD détermine des charbons préservés dans un tumulus breton[40], puis l'abbé BREUIL s'intéresse en 1903 à la végétation ancienne des grottes de Dordogne dont il fait déterminer les macrorestes végétaux. Mais ce n'est qu'une trentaine d'années plus tard avec A. FIETZ que ces études sont aidées par le microscope à réflexion. Dès 1941, J. IVERSEN au Danemark se servait des charbons de bois afin de reconstituer le paléoenvironnement. À partir des années 1970, la technique d'analyse en laboratoire évolue, notamment par la contribution du scientifique hongrois J. STIEBER et celle du suisse F. H. SCHWEINGRÜBER, qui ont mis au point la méthode d'observation au microscope du charbon et plus largement du bois, à partir de coupes transversales et longitudinales faites à la main, au lieu de l'observation de lames minces. Les premières analyses en France sur les charbons de bois d'origine anthropique ont été développées notamment grâce aux travaux de J.-L. VERNET, puis de ses étudiants depuis une quarantaine d'années. Les années 1980, voient, quant à elles, la diffusion de cette discipline dans l'étude des sites archéologiques[41].

Depuis peu, un nouvel outil d'analyse en laboratoire se met progressivement en place dans le domaine de l'anthracologie et de la dendrologie. Il s'agit du calcul de la courbure des cernes*. Ce calcul permet d'appréhender le calibre et la croissance des bois archéologiques pour ensuite mieux comprendre la gestion du bois dans les sociétés du passé. Le principe est de calculer la distance d'un cerne par rapport au cœur du bois : le rayon de courbure. Cette méthode peut s'appliquer au bois vert, au bois sec utilisé dans l'architecture, au bois conservé en milieu humide ou carbonisé[42]. Les travaux de D. MARGUERIE sur la courbure des

[39] SMART, HOFFMAN 1988.
[40] MARGUERIE *ET ALII*. 2010, 2.
[41] THIÉBAULT 1988 ; RAMPONI, THIÉBAULT 1995 ; CHABAL *ET AL*. 1999 ; NELLE 2002 ; DURAND, TERRAL 2005 ; JORDA *ET AL*. 2008 ; MOCCI 2008 ; NELLE 2008 ; SCHOCH 2008 ; MARGUERIE *ET ALII*. 2010.
[42] DUFRAISSE 2006 ; LUDEMANN 2006 & 2008 ; PARADIS-GRENOUILLET *ET AL*. 2010, 199-204.

cernes ont élaboré une première approche de ce calcul, notamment par estimation visuelle : lorsque les cernes sont rectilignes le bois est alors considéré comme étant le plus récemment produit par l'arbre et correspond à l'extrémité du tronc ou aubier* et à de très grosses branches ; quand les cernes possèdent une courbure intermédiaire, on parle de petit tronc ou de branches (moyen calibre) ; enfin, lorsque les cernes sont très courbés, les charbons sont considérés soit comme appartenant à un bois de petit calibre (brindille, petite branche) soit comme le cœur de branches de gros calibres[43]. Après avoir effectué une formation en juin 2012 auprès de S. PARADIS-GRENOUILLET pour la prise en main du logiciel, il a été soulevé que les mesures réalisées sur du bois d'œuvre, et donc sur des bois de calibres supérieurs à 20 cm de diamètre, étaient moins fiables. Cette méthode a ainsi été mise de côté pour ce dossier.

- La xylologie et la dendrochronologie

Du grec « *dendron* » : arbre et « *logos* » : science, la dendrologie est une discipline étudiant des végétaux ligneux en se développant dans divers contextes d'études : la dendroécologie ; la dendroclimatologie; la dendrogéomorphologie; ou encore la dendroarchéologie[44]. La dendrochronologie, du grec « *chronos* » : temps et « *logos* » : science, est une science découlant directement de la dendrologie. Elle étudie la croissance et la variation des cernes d'arbre pour proposer une datation d'abattage de l'arbre. Notons ainsi que la méthode du carbone 14 nécessite souvent une calibration effectuée par comparaison avec les référentiels de cette discipline. Le principe consiste à comparer les bois entre eux, à partir de courbes référentielles et d'établir des chronologies plus ou moins longues. Cette discipline est utilisée pour l'étude du bois en contexte naturel, mais aussi archéologique et dans les bâtiments plus récents. Il faut noter toutefois, qu'un bon nombre d'espèces d'arbres, de par leur nature, ne sont pas ou plus difficilement exploitables pour acquérir des datations.

C'est au début du XXe siècle aux États-Unis, que A. E. DOUGLASS, un astronome, cherchait à savoir si la fluctuation du bois (les cernes), connue depuis le XVe siècle avec Léonard de Vinci, correspondait avec la fluctuation du Soleil. Malgré l'invalidation de sa théorie, en travaillant sur des bois fossiles, il s'est rendu compte que cette étude donnait des informations climatiques. Depuis, la dendrologie a été développée par les paléobotanistes. Cette méthode arrive en Europe dans les années 1930, mais c'est à partir de l'après guerre que la discipline va progresser, notamment avec l'apport des fouilles archéologiques des années 1960/70 ainsi que les travaux sur la calibration du radiocarbone. Plusieurs laboratoires qui se sont alors mis en place en France ont commencé à réaliser des référentiels pour certaines essences et pour certaines régions et micro-régions.

L'arbre est un enregistreur climatique fiable car chaque année il fabrique sous son écorce un anneau de croissance (cerne). La largeur des cernes varie chaque année en fonction du climat (sécheresse, inondation sont des évènements parfois perceptibles). Sa croissance synthétisant ainsi des variations météorologiques et climatiques intervenues au cours de sa vie sont interprétables à l'échelle micro-régionale ou régionale selon les essences et le

[43] MARGUERIE, HUNOT 2007, 1417-1433 ; PARADIS-GRENOUILLET *ET AL.* 2010, 199-204.
[44] ASTRADE, MIRAMONT 2010.

contexte. Les « accidents » climatiques sont caractéristiques pour les dendrochronologues et servent de points de repère pour remonter progressivement dans le temps[45].

- L'entomologie

Du grec « *ἔντομον* », én-tom-on « découpé », l'entomologie est l'étude des insectes. La paléoentomologie traite des insectes fossiles et archéologiques. Les insectes constituent un embranchement du règne animal et regroupent bon nombre d'ordres (coléoptère, hyménoptère…). Une des premières classifications des insectes a été proposée par CARL VON LINNÉ au XVIIIe siècle. Il s'est basé sur les critères morphologiques propres aux insectes : élytres, points, soies, antennes...

L'idée d'utiliser la chitine* des insectes pour des questions de paléoenvironnement remonte à une quarantaine d'années en Angleterre. Ce pays en est le précurseur avec de nombreuses études publiées. La plupart des méthodologies en sont également issues. La discipline s'est diffusée ensuite en Europe du Nord (Allemagne, Suède, Islande....). Les premières études d'insectes fossiles apparaissent dans les années 1860 avec O. FISHER qui s'est inspiré de l'entomologie de son époque et a comparé avec des insectes fossiles, notamment datés d'il y a 10 000 ans (Holocène). Les études qui ont eu lieu depuis montrent que la quasi-totalité des insectes découverts sous forme fossile, appartiennent à des espèces qui existent encore à ce jour[46]. Ce n'est que plus tardivement, que cette discipline a été sollicitée en France, particulièrement à partir de la forte activité des fouilles préventives et de sauvetage des années 1980 et 1990. Les travaux antérieurs aux années 90 demeurent assez anecdotiques. L'étude des insectes a plutôt été laissée de côté, peut-être en raison d'une méconnaissance de cette discipline et de ses méthodologies d'investigation. De plus, les spécialistes sont rares, résultant d'une histoire scientifique riche en hommes amateurs étudiant les insectes sur leur temps libre, au même titre que les archéologues des XVIIIe et XIXe s. par exemple. Il s'agit d'une discipline qui a longtemps été estampillée comme étant une passion plutôt qu'un « vrai métier ». Aujourd'hui et depuis les années 1990, les professionnels entomologistes, notamment dans le domaine de l'archéologie, demeurent peu nombreux et il s'agit rarement de leur seule spécialité : Ph. PONEL (environnement, site de Chalain, le Fâ...), J.-B. HUCHET (anthropologie), P. MORET (archéozoologie), J.-H. YVINEC (archéozoologie) ; certaines personnes font de l'entomologie en archéologie mais ce n'est pas leur métier premier : C. DUVERGER, D. PÉCRÉAUX (enseignant dans le secondaire et ancien étudiant de Ph. PONEL), A. DONNINI (indépendante travaillant dans le domaine de la conservation du patrimoine) par exemple[47], mais leur but est de développer et de populariser l'étude des insectes fossiles dans le domaine des sciences de l'Homme. En conséquence, aujourd'hui en archéologie, on ressent une demande croissante de l'application de cette discipline sur divers types de sites.

Ainsi, d'une manière générale, la paléoentomologie concerne l'étude des insectes et arthropodes subfossiles quel que soit le contexte. Les insectes, en particulier les espèces d'insectes xylophages dont il sera en majorité question dans ce travail, saprophages* ou phyllophages*, présentent le plus souvent des exigences particulières (nourriture, nature du

[45] Communication orale DENDROTECH.
[46] BREMOND, LESSERTISSEUR 1973 ; PONEL 2007.
[47] PONEL ET YVINEC 1997, 31-37 ; BUCKLAND ET COOPE 1991 ; CAMBEFORT 2006 ; KENWARD 2006 .

sol, température, humidité, etc.) avec pour conséquence l'attribution d'une espèce d'insecte à une essence d'arbre ou une famille particulière[48]. Ils sont étudiés dans le but de révéler une partie de la composition du couvert végétal qui existait pour une période donnée, renseigner sur la présence d'eau à proximité du site (insectes hygrophiles), ou encore, sur la présence de matière stockée (ravageurs et insectes psichophages) ou de certains animaux (puces), et enfin de l'état sanitaire des arbres et du bois ouvragé[49].

À partir de la biologie des insectes, cette discipline aide à la reconstitution paléoenvironnementale de couvert forestier (assemblage d'espèces liées aux cultures, aux milieux ouverts ou au contraire à des milieux forestiers humides, secs...) et paléoclimatiques car certains insectes sont des bio-indicateurs précis : année de fortes pluies, pollution, activités humaines telles que la fabrication du pain[50], la conservation des céréales, la présence de bois d'œuvre, l'élevage (présence de puces)[51]...

De nos jours, les insectes livrent une contribution majeure à la biodiversité forestière. L'identification a un rôle déterminant à jouer dans l'évaluation des indicateurs de la biodiversité : nombres d'espèces, forêts infestées, via la connaissance de l'espèce et de ses besoins bio-écologiques. En revanche, ces traits écologiques sont souvent mal connus de nos jours en raison de l'attachement prioritaire à l'identification systématiques des individus adultes plutôt qu'à leur contexte de découverte. Ensuite, connaître une espèce, nuisible ou non, est utile pour diagnostiquer les causes d'un dégât ou d'une menace et suivre la dynamique de leur population afin de déterminer les risques à venir et ainsi de choisir la meilleure méthode de lutte[52].

Enfin, il convient de mettre en avant les points faibles de l'entomologie. Tout d'abord il s'agit de l'hyperdiversité avec, en France, plus de 40 000 espèces d'insectes, tous ordres confondus, (dont environ 600 espèces xylophages[53]) qui sont plus ou moins adaptables à leur environnement changeant. C'est également une discipline dont l'expertise de l'identification est chronophage et la bibliographie est dispersée, multilingue, et n'est pas facilement mise à jour régulièrement selon les familles. Actuellement, il existe de nouveaux outils de détermination des insectes, toujours en développement telle que l'analyse en biologie moleculaire qui enregistre l'ADN des individus dans une base de données semblable aux référentiels dendrochronologiques[54]. Au sein des sédiments archéologiques, il convient également de noter que les restes d'insectes sont fragiles. Ils peuvent être rapidement détruits après la fouille, notamment dès lors qu'ils rentrent en contact avec l'oxygène[55].

Lors de l'observation au microscope des charbons de bois, puis du bois gorgé d'eau, divers micro-organismes et galeries ont été observés. C'est donc tout naturellement que la voie de la paléoentomologie a été empruntée et a fait l'objet d'un intérêt particulier pour ce travail. Plusieurs questionnements nouveaux ont pu être posés. L'un des plus importants

[48] DODELIN 2006.
[49] BATTISTI 2004.
[50] GOUREVITCH 2005.
[51] MONA COURT PICON 2003, 216.
[52] NAGELEISEN, BOUGET 2009.
[53] *Cf.* Chapitre II, page 128.
[54] FOHRER *ET AL.* 2017 ; MEUSNIER *ET AL.* 2017 ; accès libre sur la base de données internationale Bold Systems http://www.boldsystems.org/index.php/Public_SearchTerms
[55] On peut faire une rapide comparaison avec la carpologie : les graines, surtout lorsqu'elles sont non carbonisées demeurent fragiles après leur extraction et le tamisage (gonflements, déformations, craquellement...).

était de savoir à quel moment ces organismes avaient infesté le bois : sur pied, pendant le stockage, pendant l'utilisation du bois et donc de manière contemporaine au fonctionnement du site. Il s'agissait aussi de comprendre si l'attaque avait eu lieu avant la combustion ou, au contraire, après sa combustion, et était alors en liaison avec la taphonomie* des vestiges archéologiques.

B. Le choix, la coupe et le transport du bois durant l'Antiquité en Gaule

1. Les propriétés du bois

- Qu'est-ce que le bois ?

Un arbre se divise en trois parties bien distinctes : les racines, le tronc et le houppier. Le bois du tronc et des branches se subdivisent également en trois parties : le duramen, l'aubier et l'écorce. Cette dernière est elle-même formée du *cambium** et du *liber** permettant la fabrication de nouvelles cellules ligneuses, ou cerne de croissance, vers l'intérieur de l'arbre (l'aubier) chaque année. Ainsi, au fur et à mesure que l'arbre croît via l'assise libéro-ligneuse, les cellules de l'aubier les plus proches du centre du tronc meurent pour former le duramen. Pour les climats tempérés, la croissance de l'arbre est saisonnière ; elle est donc plus importante au printemps (cellules plus riches voire plus grandes) qu'en hiver. Cette situation peut être observée au sein des cellules : notées bois initial* (ou de printemps) ou bois final* (bois d'hiver). Le xylème* et les types de cellules varient selon les essences et en particulier entre les feuillus et les conifères. Les angiospermes*, ou feuillus, ont une organisation anatomique complexe composée de fibres, de vaisseaux*, de rayons de parenchyme* et parfois des fibres-trachéides et des trachéides vasculaires, alors que les gymnospermes*, ou conifères, possèdent une anatomie différente, plus simple et uniforme, construite à partir de fibres-trachéides et de rayons et parfois des trachéïdes* transversales et des canaux résinifères. L'agencement, l'homogénéité ou non, la taille et la morphologie des cellules forment le visage d'une espèce alors identifiable au microscope[56, 57].

- Composition chimique

Chacune de ces cellules à une fonction pour l'arbre : de maintien, d'absorbtion des nutriments, de conducteur de sève... Chaque essence a alors ses propres particularités physiques (ou mécaniques) et ainsi une composition chimique spécifique qui peut varier selon le milieu et les conditions de croissance de l'arbre.

D'une manière générale, la composition élémentaire du bois varie assez peu d'une essence à l'autre : le carbone constitue environ 50% de la matière[58], l'oxygène 42 à 43%, l'hydrogène 6%, l'azote 0,5 à 1%, ainsi que des minéraux sous forme de traces : calcium, potassium,

[56] *Cf.* Chapitre II, page 90.
[57] Schweingrüber 1989 ; Chabal 1997 ; Berti *et al.* 2007 ; Chrzavzez 2013.
[58] En pourcentage de masse du bois anhydre.

magnésium, manganèse, fer, silicium, *etc*.)[59]. Ainsi, pour chaque essence, cette composition s'assemble différemment pour former un ensemble moléculaire (polymères) constitué de cellulose (représentant 40 à 62% du poids sec), de lignine (18 à 38%), d'hémicellulose (comme l'arabane ou le xylane, plus présents dans les feuillus)[60], d'amidon[61], de glucose (ou sucre réducteur présent dans le bois frais et mort, dans l'aubier et dans l'écorce), de protides (acide aminé de type protéine présent sur les bois morts), de tanin, d'oléorésine ainsi que d'autres huiles ou graisses, d'acides organiques, de composés azotés et de cendres[62]. Il serait intéressant de prendre en compte cette composition afin de mieux comprendre certaines infestations d'insectes et de champignons qui repèrent et se nourrissent de certains éléments[63]. En parallèle, il existe des analyses des sucs digestifs des coléoptères, notamment xylophages sur les divers constituants du bois retrouvés[64].

- Propriétés mécaniques et durabilité

Aujourd'hui, le choix d'un matériau de construction dépend avant tout de sa performance, c'est-à-dire de sa durée de service souhaitée et/ou de ses capacités à soutenir un poids, une longueur... Le bois présente également des propriétés combustibles et un pouvoir calorifique variant en fonction de l'espèce, du taux d'humidité, du calibre des grumes* mises au feu et de l'état général du bois.

La structure mécanique du bois est génétiquement définie par l'organisation cellulaire. Ainsi, le bois possède une résistance, une densité, une porosité, une sensibilité face aux ravageurs et une longévité différentes selon les essences, voire d'un individu à l'autre si leurs conditions physiques, sanitaires et de croissance sont différentes (humidité, infestations, aubier, duramen...)[65]. La connaissance des propriétés mécaniques du bois aident à interpréter les informations archéologiques sur la qualité du bois sélectionné, sa fonction, et parfois sur certains aspects de sa provenance (futaie, taillis...). Ces propriétés correspondent aux limites physiques du bois face à diverses contraintes mécaniques comme la torsion, la flexion, le flambage*, le gonflement (eau) et la résistance des fibres du bois par rapport à un poids ou une longueur par exemple. Ces propriétés concernent la rigidité, l'élasticité, la plasticité et la résilience.

Les propriétés physiques du bois sont fortement conditionnées par sa teneur en eau. Les cellules du bois sont remplies d'eau : elles sont essentielles au fonctionnement physiologique de l'arbre lorsque celui-ci est sur pied et sont plus ou moins présente (bois sec) favorisant la dégradation du bois mort[66]. Chaque essence a un taux limite de saturation des fibres par l'humidité. Le taux d'humidité d'un bois feuillu varie entre 80 et 90% pour du bois vert, tandis que celui d'un résineux atteint 15% dans l'aubier et 50% dans le duramen. Le taux d'humidité d'un bois vert peut atteindre des valeurs supérieures à 100%. Le taux de 30%

[59] KOLLMANN, CÔTÉ 1968 ; KELLER 1994 ; FISCHESSER 1996 ; CHRZAVZEZ 2013, 75-76.
[60] Appréciée de certains *scolytinae*, *cf.* Vol III, page 79.
[61] Taux très variable d'une essence à l'autre et cible privilégiée de certaines espèces xylophages comme le *Lyctus*, *cf.* Chapitre II, page 115.
[62] PAULIAN 1988 ; CHABAL 1994 ; CHRZAVZEZ 2013.
[63] On parle d'exigence ou de préférence selon l'espèce.
[64] PAULIAN 1988, 121 ; NEPVEU 1994.
[65] CHABAL *ET AL*. 1999.
[66] Dans ce cas, taux qui s'équilibre selon les conditions environnantes.

d'humidité atteint est un point de saturation où le bois a le plus de chance d'être infesté. À 22% le bois est dit « sec », à 13% il est dit « desséché »[67].

La densité, dépendante du degré d'humidité, de la situation géographique, du substrat nourricier de l'arbre et de la partie de l'arbre (bas du tronc, branches...), fait partie des facteurs importants à prendre en compte pour le choix d'une essence par rapport à une autre dans la perspective d'une fonction particulière prévue pour le bois. On peut noter par exemple que le chêne possède une densité de 0.70 à 0.90 kg/m^3, le châtaignier de 0.70 kg/m^3, le frêne et l'orme de 0.65 kg/m^3, le hêtre de 0.60 kg/m^3, le sapin est à 0.50 kg/m^3 et le peuplier à 0.45 kg/m^3 [68]. Pour donner quelques chiffres à titre d'exemple, la compression ou l'écrasement, concernant les poteaux et toutes les pièces chargées sur leur partie supérieure, provoque l'écrasement des cubes de bois si le poids limite des charges sur une pièce est trop élevé. Ainsi, chaque essence possède ses propres propriétés de résistance face à ce phénomène. Le chêne peut ainsi supporter entre 38,5 et 55 kg/cm² (ou de 46,3 à 66 kg/cm² lorsque le bois est très sec), tandis que le Pin supporte au maximum un poids compris entre 47,7 et 68 kg/cm², ou encore le Sapin: entre 46,2 et 66 kg/cm² (ou de 51,3 à 73 kg/cm² pour le bois très sec). Par exemple, un poteau en sapin de 4 m de long peut supporter 8400 kg au maximum pour un bois très sec[69].

En fonction de leur situation dans l'architecture par rapport à l'air et à l'humidité, la durabilité du bois est variable. En effet, si la pièce de bois est en contact avec le sol (sablière, planche*), on peut compter environ 10 ans (chêne, châtaignier, orme), 3-4 ans (sapin, peuplier) ; sans contact avec le sol et à découvert (poutre extérieure) : 60 à 120 ans (chêne, châtaignier, orme), 40 à 80 ans (Pin), 30 à 50 (sapin), moins de 30 ans (peuplier) ; sans contact avec le sol, à couvert (poutre intérieure) : 200 ans et plus (chêne, châtaignier, orme), 150 ans (pin), 50 ans et plus (sapin), 50 ans (peuplier). En charpente en local sec et ventilé, la plupart des essences atteignent 500 ans, avec un plus, non négligeable, pour le chêne et le châtaignier. Si le bois est totalement immergé en eau douce alors sa conservation est quasiment illimitée dans le temps (exemple des sites palafittes)[70].

Les auteurs antiques ont, dans quelques passages, exposé leurs connaissances des propriétés mécaniques des bois, ou plus précisément des résistances naturelles ou à l'inverse les faiblesses liées à une essence en particulier. Ainsi, pour Vitruve, le chêne peut être « imputrescible », mais a aussi des faiblesses (fentes, déformations) lorsqu'il est sec. Pline l'Ancien décrit brièvement les problèmes mécaniques du rouvre, de l'olivier, du noyer et du palmier et préfère l'utilisation du sapin et du mélèze dont il vante la résistance. Cependant, leur point faible semble être la « carie » qui correspond vraisemblablement à un champignon lignivore (*cf. infra*). Il en est de même pour le pin, l'épicéa et l'aulne qui sont apparemment plus résistants lorsqu'ils restent en contact permanent avec l'eau.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 8

Contra vero quercus terrenis principiorum satietatibus abundans, parumque habens humoris et aeris et ignis, quum in terrenis operibus obruitur, infinitam habet aeternitatem, ex eo quod quum tangitur humore, non habens

[67] ADAM 1989 ; NOËL, BOCQUET 1987, 164 ; PAULIAN 1988 ; AUDOUZE, BUCHSENSCHUTZ 1989 ; NEPVEU 1994 ; CHABAL 1999 ; BERTI *ET AL.* 1997 ; CHRZAVZEZ 2013.
[68] ADAM 1989.
[69] BARBEROT 1911, 577.
[70] ADAM 1989 ; PAULIAN 1988.

foraminum raritates, propter spissitatem non potest in corpus recipere liquorem, sed fugiens ab humore resistit, et torquetur, et efficit, in quibus est operibus, ea rimosa.

Le **chêne** pour sa part, abondamment pourvu de l'élément terrestre, mais qui n'a que peu d'eau, d'air et de feu à **une durée illimitée dans les ouvrages pour lesquels il est enfoncé dans la terre**. Par la suite aussi, comme en raison de sa capacité sa texture sans interstice n'est pas poreuse, il ne laisse pas traverser l'eau, quand il est au contact de l'humide, mais, **n'aimant pas l'humide, il s'en défend, gauchit et fait se fissurer les ouvrages** dans lesquels il se trouve.

Pline l'Ancien, Livre XVI, Chap. 81, 222

[…] Pondus sustinere ualidae abies, larix, etiam in trauersum positae. Robur, olea incuruantur ceduntque ponderi. Illis renituntur nec temere rumpuntur, priusque carie quam uiribus deficiunt.

[…] **Le sapin et le « mélèze »**, sont capables de supporter une lourde charge, même à l'horizontale ; le rouvre, l'olivier s'incurvent et fléchissent sous le poids ; ils résistent et ne se rompent pas sans cause, et lâchent plutôt par la **carie** que par la faiblesse.

Pline l'Ancien, Livre XVI, Chap. 81, 223

Et palmae arbor ualida; in diuersum enim curuatur, {et populus} cetera omnia in inferiora pandantur, palma ex contrario fornicatim. [...] Facile pandatur iuglans, fiunt enim et ex ea trabes. Frangi se praenuntiat crepitu, quod et in Antandro accidit, cum e balineis territi sono profugerunt. Pinus, piceae, alni ad aquarum ductus in tubos cauantur; obrutae terra plurimis durant annis. Eaedem, si non integantur, cito senescunt, mirum in modum fortiores, si umor extra quoque supersit.

Le **palmier** est aussi un bois solide : il **s'incurve** en sens opposé ; quand **tous les autres se courbent vers le bas, lui, au contraire, se bombe en cintre**. [Le pin et le cyprès résistent fort bien à la carie et aux vers.] **Le noyer fléchit facilement** ; on en fait aussi des poutres. **La rupture s'annonce par un craquement**, ainsi qu'il advint à Antandros, où les gens effayés par le bruit s'enfuirent d'un établissement de bains. **Le pin, l'épicéa, l'aune servent à faire des tuyaux pour les conduites d'eau** ; enfouis sous terre, ils durent de très nombreuses années ; mais s'ils ne sont pas recouverts, ils se détériorent vite ; **ils sont remarquablement plus solides si l'extérieur est aussi au contact de l'eau**.

2. Du choix de l'essence à l'abattage des grumes

- Une essence, une fonction ?

Les indices archéologiques sur le choix de telle ou telle essence ligneuse pour la construction sont à analyser au cas par cas, en fonction du contexte régional (Narbonnaise, Gaule, Bretagne...), de la période (batailles connues, occupation longue, réoccupation tardive...), et du site (habitat rural, urbain, commerce, portuaire...). Il n'y a pas de règle impérative : une essence pour une fonction. Seul Vitruve donne quelques indications sur le sujet, montrant qu'il a conscience des différentes propriétés mécaniques des essences et qu'il n'est pas possible de tout construire avec une seule espèce.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 5

Hae autem inter se discrepantes et dissimiles habent uirtutes, ut robur, ulmus, populus, cupressus, abies ceteraeque quae maxime in aedificiis sunt idonea. Namque non potest id robur, quod abies, nec cupressus, quod ulmus, nec cetera easdem habent inter se natura rerum similitates; sed singula genera principiorum proprietatibus comparata alios alii generis praestant in operibus effectus.

Il y a entre les arbres des différences marquées de qualité : ainsi pour le chêne, l'orme, le peuplier, le cyprès, le sapin et tous les autres arbres **qui conviennent particulièrement pour les constructions**. **On ne peut pas faire en effet avec le chêne ce quon peut faire avec le sapin, avec le cyprès ce qu'on peut faire avec l'orme : aucun arbre n'a reçu de la nature des propriétés identiques** ; c'est en fonction des

qualités particulières de ces principes constitutifs que **chaque espèce répond efficacement à des usages de type différents**.

Quelques tendances générales sont visibles, révélatrices d'une connaissance empirique de ce que peut être un « bon bois de construction » telle que l'utilisation généralisée du chêne.

Connus des auteurs antiques, il s'agit d'un bois idéal pour les fondations et rarement utilisé sous forme de planches. Pour Théophraste (*HP*, V, 7, 5), le chêne est le bois de construction idéal pour les ouvrages enterrés, ce que réécrit Vitruve plus tard (*cf. supra*, Livre II, 9, 8). Pline en dit qu'il s'agit d'un bois fort, résistant aux champignons et aux insectes tant qu'il n'est pas travaillé (*cf. infra*).

Pline L'Ancien, Livre XVI, Chap. 8, 22-23

(22) In ipsis uero arboribus quae maximam fert hemeris uocatur, breuior et in ordem comosa alasque ramorum crebro cauata. Fortius lignum quercus habet et incorruptius, ramosa et ipsa, procerior tamen et crassior caudice, excelsissima autem aegilops, incultis amica.
(23) Ab hac proxima latifoliae proceritas, sed minus utilis aedificiis atque carboni : dolata uitiis obnoxia est, quamobrem solida utuntur [...].

(22) Quant aux arbres eux-mêmes, celui qui porte le gland le plus gros s'appelle *héméris* ; il est le plus petit, en touffe arrondie, et souvent excavé à l'aisselle des ses branches. **Le chêne pédonculé a un bois plus fort et moins sujet à se corrompre** ; touffu lui aussi, il est toutefois plus élancé et son tronc est plus gros. Mais le plus haut est l'*aegilops* (*quercus aegilops,* L.[71]), ami des lieux incultes.
(23) Le plus haut après lui est le chêne à larges feuilles (*quercus sessiliflora,* Sibth.), mais il est de qualité inférieure pour la construction et pour le charbon : façonné, **il est sujet à se gâter** ; **aussi l'emploie-t-on sans le détailler** […].

Le sapin est également une essence souvent présente dans l'architecture. C'est un bois léger, rigide et raide, qui ne fléchit pas rapidement sous la charge. Sous forme de planche, il est facilement inflammable. Il est utilisé généralement dans les boiseries d'intérieur sous forme de bûche comme pour un plancher par exemple. Théophraste le décrit notamment comme étant un bois de construction léger et solide. Idéale pour la charpente, plus cette espèce est vieille plus elle peut être utilisée à différents usages. Vitruve à l'inverse, reste plus prudent vis à vis du sapin le considérant trop inflammable. Pline indique l'utilisation du sapin en tant qu'encadrements de portes et pour la fabrication de meubles. Les auteurs latins agrémentent leur discours de notions de propriétés mécaniques.

Theophraste, *HP*, livre V, Chap. 4, 5

Πλείστας δέ Χρείας καί μεΥίστας ἡ ἐλάτη καί ἡ πεύχη παρέΧονται καί ταῦτα κάλλιστα καί μέΥιστα τών ξύλων ἐστι.

Le sapin et le pin se prêtent à des usages très nombreux et très importants ; ce sont les plus beaux bois et ceux qui ont les plus grandes dimensions.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 6

Et primum abies aeris habens plurimum et ignis minimumque umoris et terreni leuioribus rerum naturae potestatibus comparata non est ponderosa. Itaque rigore naturali contenta non cito flectitur ab onere, sed directa permanet in contignatione. Sed ea, quod habet in se plus caloris, procreat et alit cariem ab eaque uitiatur, etiamque ideo celeriter accenditur quod quae inest in eo corpore aeris raritas ut est patens accipit ignem et ita uehementem ex se mittit flammam.

[71] Chêne à glands doux, aussi nommé *Quercus macrolepis. La nomenclature a été donnée par Linné au XVIIIe s.*

Le sapin tout d'abord, qui contient essentiellement de l'air et du feu, mais une très faible quantité d'eau et de terre, n'est pas lourd, les principes naturels qui le composent étant légers. Rigide donc et raide par nature, **il ne fléchit pas rapidement sous la charge, mais reste droit dans le planchéiage. La chaleur cependant qui domine en lui génère et entretient une pourriture qui le détériore ; il prend feu rapidement aussi pour la raison que sa faible teneur en air qui est en lui et sa dilatation laissent pénétrer le feu et font ainsi jaillir de lui une flamme violente.**

Pline L'Ancien, Livre XVI, Chap. 82, 225

Firmissima in rectum abies, eadem ualuarum paginis et ad quaecumque libeat intestina opera aptissima siue Graeco siue Campano siue Siculo fabricae artis genere […].

Le sapin offre une très grande résistance à la verticale; il est très bon pour les **panneaux des portes** et tous les **ouvrages de menuiserie** de style grec, campanien ou sicilien […].

Quelques exemples d'autres essences sont cités par les auteurs antiques, même s'il ne s'agit aucunement ici d'une liste exhaustive[72]. Pour Théophraste, le pin est particulièrement efficace pour la conception des chevrons (*HP*, VII, 2, 1) et demeure un bois solide pour la charpente. L'anatomie de ce bois lui permet de supporter la fabrication de mortaise (*HP*, V, 6, 1). Le buis peut être utilisé pour la confection des entretoises (*HP*, VII, 3, 1). Enfin, l'olivier possède les mêmes capacités que le buis, sauf qu'il peut être encore plus durci s'il est travaillé par le feu. Il est avantageux dans un rôle de cheville ou bien de pieux (*HP*, VII, 3, 1).

Vitruve fait état de l'utilisation de l'orme, du peuplier et du cyprès dans la construction d'édifices (Livre II, 9, 5, *cf. supra*) ; Pline (texte : livre XVI, 81, 223, *cf. supra*) de celle du noyer pour les poutres, du pin, de l'épicéa et de l'aulne pour faire des caniveaux.

Pline L'Ancien, Livre XVI, Chap. 84, 229-230

(229) Facilis est fagus, quamquam fragilis et tenera. Eadem sectilibus lamnis in tenui flexilis capsisque ac scrineis sola utilis. Secatur in lamnas praetenues et ilex, colore quoque non ingrata, sed maxime fida iis, quae terantur, ut rotarum axibus, ad quos lentore fraxinus sicut duritia ilex et utroque legitur ulmus.
(230) sunt uero et parui usus fabrilium ministeriorum insignes, ideoque proditum, terebris uaginas ex oleastro, buxo, ilice, ulmo, fraxino utilissimas fieri, ex iisdem malleos, maioresque e pinu et ilice. Et his autem maior ad firmitatem causa tempestiuae caesurae quam inmaturae, quippe cum ex olea, durissimo ligno, cardines in foribus diutius immoti plantae modo germinauerint. Cato uectes aquifolios, laureos, ulmeos fieri iubet, Hyginus manubria rusticis carpinea, iligna, cerrea.

(229) Le **hêtre** aussi est facile à travailler, bien que fragile et tendre. Fendu en feuilles minces, il est flexible et seul employé pour **les boites et les coffrets.** On coupe aussi en feuilles très minces l'yeuse, dont la couleur n'est pas non plus désagréable; mais on peut surtout compter sur lui pour les pièces qui frottent, comme **les essieux des roues, pour lesquels son élasticité fait choisir le frêne,** sa dureté l'yeuse, et ces deux qualités l'orme.
(230) On notera aussi de menus emplois artisanaux des bois : ainsi, dit-on, **les meilleurs manches pour les tarières se font en olivier sauvage, buis, yeuse, orme, frêne** ; les maillets se font de ces mêmes bois, et **les plus gros, de pin et d'yeuse**. Mais ces bois ont plus de dureté coupés en temps opportun que prématurément, puisqu'on a vu **des gonds d'olivier**, bois très dur, restés longtemps sans jouer sur des portes, bourgeonner comme des boutures. **Caton** (De rust., XXXI) recommande de faire des **leviers en houx, laurier et orme ; Hygin, les manches d'outils des paysans en charme, yeuse et chêne chevelu.**

[72] Il y aurait d'ailleurs un travail intéressant à faire en comparaison avec d'une part les résultats archéologiques et d'autre part avec les utilisations du bois d'aujourd'hui.

Parfois, à la vue des résultats archéologiques, les choix effectués par les constructeurs et leur motivation demeurent plus énigmatiques et peuvent parfois être interprété comme des erreurs ou une méconnaissance, usant ainsi de taxons* jugés peu durables ou associant diverses essences pour certaines constructions. Or, il s'agit peut-être d'impératifs techniques (taille, diamètre des arbres), d'essences trop éloignées, d'un non intérêt pour la durée de vie d'un objet ou d'une construction, ou d'une culture et d'une tradition différentes... Ainsi la question « pourquoi ont-ils choisi spécifiquement cette essence ? » reste souvent sans réponse. La question se posera au fil des études de cas de ce travail avec, en plus, la notion de bois choisis sain ou infesté (*cf. infra*).

- L'abattage de l'arbre

Ces caractéristiques mécaniques sont connues durant l'Antiquité romaine, notamment grâce aux indications laissées par Vitruve. Celui-ci indique que les propriétés mécaniques d'un bois sont en partie dépendantes de la période d'abattage et de l'âge de l'arbre. Par exemple, l'âge optimum d'abattage d'un arbre, pour avoir les meilleures propriétés mécaniques, serait de 30 ans pour un peuplier et de 80 ans pour un sapin ; en revanche, il faudrait attendre 200 ans d'âge pour un chêne[73]. Théophraste souligne l'importance de la Lune lors de la coupe d'un arbre, un élément longtemps ancré dans les traditions communes. Vitruve décrit brièvement, dans le chapitre 9 le travail de l'arbre et l'ouvrage de la pièce. Il indique notamment qu'il vaut mieux abattre les arbres du début de l'automne jusqu'au printemps. Enfin, pour l'entretien, la réalisation de l'élagage des arbres en forêt ou des fruitiers cultivés est également attestée pour la période romaine (FIGURE 1)[74].

FIGURE 1 - Dieu Esus élaguant un arbre avec une serpe ou une hache (?) ©Musée de Cluny, Paris - Pilier des Nautes 4 - N° Inventaire : Cl. 1461 et Cl. 18602 à 18605.

Théophraste, *CP*, Livre V, Chap. 1, 3

[...] Κελεύουσι δέ καί δεδυκυίας τής σελήνης τέμνειν ὡς σκληροτέρου καί ἀσαπεστέρων γινομένων. [...] On recommande aussi de le couper **quand la Lune est couchée**, ce qui le rend **plus dur et moins sujet à pourrir**.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 3

[…]Tum autem, cum sicca et sine stillis erit arbor, deiciatur, et ita erit optima in usu.

[73] ADAM 1989.
[74] ADAM 1989 ; BERNARD 2003 ; ÉPAUD communication orale.

> […] C'est précisément lorsqu'il est sec et sans traces d'humidité que l'arbre doit être abattu : il sera alors d'un excellent usage.

D'une manière générale, et particulièrement pour le bois de chauffage, il faut attendre que la sève redescende avant de couper son bois. La saison hivernale est donc privilégiée. En anthracologie et xylologie, cette information peut éventuellement être observable si les conditions de conservation du bois sont bonnes et si l'aubier complet (ou l'écorce) est conservé.

Les artisans du bois, tels que les bûcherons, les charpentiers, les porteurs de grumes, marchands de bois et les menuisiers sont, à l'époque romaine, connus (et vraisemblablement regroupés) sous le nom de dendrophores (*dendrophorus, i*). Il s'agit d'une corporation professionnelle reconnue par l'État, mais aussi d'une organisation religieuse notamment en lien avec le culte d'Attis et la symbolique du pin (pomme de pin) pour le domaine funéraire, ainsi que pour l'apport de bois lors de l'équinoxe et des fêtes du mois de mars, période où la nature renaît. Ils travaillaient avec les *fabri* (construction) et les *centonarii* (textile) apparemment pour lutter contre les incendies[75].

3. Le transport et le commerce du bois

Les études sur les pratiques et les techniques d'approvisionnement et du marché du bois par l'homme sont pour l'heure appréhendées au cas par cas, ou plutôt par grande période de l'histoire, formant ainsi des objets d'étude à part entière depuis les années 1990. Ces comportements d'approvisionnements tant pour le bois de combustion que pour l'ouvrage de bateaux ou de bâtiments civils, religieux, militaires, particulièrement les charpentes..., sont importants, mais difficiles à connaître et à mettre en évidence par le seul spectre archéologique, ne reflétant ainsi qu'une infime partie des zones d'approvisionnement ainsi qu'une méthodologie de gestion pouvant être propre au site ou un mode de construction particulier.

L'association de la paléoécologie et des disciplines paléoenvironnementales pour appréhender les sites archéologiques peuvent offrir cependant, selon les sites étudiés, des informations précieuses : les essences les plus souvent utilisées dans la construction, pour l'outillage, pour la combustion ; l'évaluation de la quantité de bois utilisée par des tests de calcul ; l'état du bois utilisé (collecte de bois mort ou au contraire l'utilisation de bois vert) ; le recul ou l'avancée de certaines essences, l'ouverture de certains espaces (agriculture ou élevage par exemple). Par exemple, pour de grandes constructions ou un ensemble de constructions d'une même phase d'occupation, les bois, qui se doivent d'être homogènes pour faire une construction cohérente, peuvent provenir soit d'une même population forestière soit de plusieurs milieux différents ou d'une aire plus large : il est difficile d'obtenir une vingtaine de troncs de gros diamètres ou plus, provenant d'une forêt gérée en taillis.

[75] GASCOU 1983 ; exemple d'une inscription sur une stèle en pierre munie d'une pomme de pin à son sommet, datée entre la seconde moitié du Ier s. et le IIe s. apr. J.-C., à Aix en Provence (13) : « *Aux Dieux Mânes de Gnaeus Licinius Marcus.Licinia Veneria, pour son mari incomparable, et les dendrophores d'Aix (ont élevé ce monument)* », mention également sur Lyon (69), Valence (26), Vienne (38), Nîmes (30), Marseille (13), Glanum (13) et Aube la Romaine (07).

Pour la Gaule du Nord-Ouest, il est considéré que l'exploitation des parcelles de taillis s'effectuait en rotation sur un court, 15-20 ans, ou moyen terme, 30-40 ans, et correspondait vraisemblablement aux besoins économiques[76]. D'une manière plus générale en Gaule romaine, la culture du taillis semble être la plus souvent utilisée[77]. Ainsi, à partir de l'étude des bois d'oeuvre, poutres équarries mais aussi planches (refendues, bois de brin* ou sur dosse*), il est possible d'obtenir une image des classes d'âge et de taille des arbres recherchés puis utilisés. Dans le cas de Rouen, l'utilisation de vieux arbres (entre 20 et 60 cm de diamètre) est attestée jusqu'à la seconde moitié du Ier s. apr. J.-C., tandis que dans le courant du IIe et IIIe s., rares sont les bois d'oeuvre âgés de plus de 50 ans et faisant plus de 20 cm de diamètre. Est-ce dû à un épuisement des grands arbres ou une gestion particulière ? Par ailleurs, jusque dans les années 1980, c'est-à-dire avant la mise en place d'études plus approfondies sur l'archéologie du bois, l'hypothèse de l'utilisation de bois stockés et secs pour le bois d'oeuvre chez les Romains était acquise et généralisée. Or, grâce aux différents arguments et résultats xylologiques et dendrochronologiques[78] en France et en Suisse, le réemploi de bois d'oeuvre pour les périodes antiques, notamment au sein de certains quartiers gallo-romains d'Amiens et de Rouen[79], a été mis en avant.

Pour le transport du bois d'oeuvre, sous forme de grumes de diverses tailles déjà équarries ou non, les indications sont également difficiles à obtenir. Le bois peut être tiré par voie terrestre jusqu'au lieu de débitage et/ou de mise en oeuvre (FIGURE 2). Les autres tendances, de plus en plus révélées par les données archéologiques sont l'utilisation de la flottation par voie d'eau, fluviale ou maritime[80], comme il est soupçonné pour les pieux d'Arles[81], mais également le transport des grumes, par bateaux, qui a été vraisemblablement mode de transport pratiqué plusieurs siècles avant l'expansion romaine par les Phéniciens (FIGURE 3). Les bois sont alors liés par des cordages et suivent le courant jusqu'à une destination qui peut être éloignée de la zone d'exploitation (pour Arles, les bois provenaient

FIGURE 2 - Lithographie réalisée en 1844 (galerie Napoléon) du bas-relief antique dit « des dendrophores » représentant des hommes soulevant une grume à l'aide de cordes, découvert à Bordeaux en 1838 et actuellement conservé au Musée d'Aquitaine[1].

[76] BERNARD 2003, 80.
[77] BERNARD 2003, 83.
[78] Datations et corrélation avec les différentes phases d'occupations.
[79] MULLIEZ 1982 ; AUDOUZE, BUCHSENSCHUTZ 1989 ; CHABAL 1997 & *ET AL.* 1999 ; GUIBAL 1996 ; HARRIS 2011 ; BERNARD 2003 ; ÉPAUD 2011 ; ÉPAUD 2017.
[80] Théophraste, HP, V, 8, 2 ; parle d'un radeau qui tirerait du bois mais dont les navigateurs craignaient les vagues.
[81] GUIBAL 1996 ; ÉPAUD 2018, com' orale.

probablement de lieux situés en amont de la région Rhône-Alpes et non pas de la proximité immédiate du site). Pour ce travail, il a été possible d'émettre des hypothèses de provenance et/ou d'acheminement pour les sites de Rezé et de l'îlot Camelin[82].

FIGURE 3 - Bas-relief daté du VIIIe s. av. J.-C., provenant du palais de Sargon II, montrant des bateaux phéniciens transportant des grumes de bois, apparemment du cèdre déjà équarri depuis les côtes libanaises ; Dur-Sharrukin, Khorsabad, Iraq ; conservé au musée du Louvre.

Toutefois, il est difficile de documenter cette thématique pour plusieurs raisons : le bois est une matière périssable ; les textes sont absents pour l'Antiquité ; il s'agit d'une problématique récente plutôt abordée d'un côté par les préhistoriens (faisant du paléoenvironnement) et d'un autre côté par les médiévistes qui bénéficient de l'apport des sources textuelles. Pour la période romaine, les spécialistes et les historiens traitant du commerce et de l'économie dans l'empire romain ne mentionnent que les matières minérales, les céramiques ou encore les bijoux et le métal. La question du bois semble toujours être évitée pourquoi ?[83]

Au fil du dépouillement des textes, un passage offre toute de même une information précieuse sur la provenance des bois d'oeuvres : Pline écrit que pour le sapin, l'indication de sa provenance constitute un gage de la qualité du bois. Néanmoins se pose la question de la généralisation de cette information : elle est sans doute valable pour des constructions d'ampleur et luxeuses, commanditées par la frange aisée de la société (celle à qui sont destinés les écrits savants) à la recherche de bois d'excellente qualité qu'ils vont aller chercher parfois fort loin, certainement beaucoup moins pour des bâtiments usuels ou concernant la majorité de la population qui vont mobiliser des bois moins onéreux.

Pline l'Ancien, Livre XVI, Chap. 76, 196-197

(196) […] Ideo Romae infernas abies supernati praefertur.
(197) Est per se gentium quoque in his differentia. Alpibus Appenninoque laudatissimae, in Gallia Iuribus ac monte Vosego, in Corsica, Bithynia, Ponto, Macedonia. deterior Aenianica et Arcadica, pessima Parnasia et Euboica, quoniam ramosae ibi et contortae putrescentesque facile.[…]

[82] *Cf.* Chapitre IV, page 306 et 360.
[83] TCHERNIA 2011; ANDREAU 2010.

(196) […] Aussi préfère-t-on à Rome le **sapin du bord de la mer Tyrrhénienne** à celui de l'Adriatique. (197) Les bois des sapins se différencient également par leur seule origine. **Les plus estimés sont ceuxi des Alpes et de l'Apennin, ceux du Jura et des Vosges en Gaule, ceux de Corse, de Bithynie, du Pont, de Macédoine.** Ceux d'Aenia et d'Arcadie sont **moins bons**. **Les plus mauvais sont ceux du Parnasse et de l'Eubée**, car ils sont rameux et tords et pourrissent facilement. […]

II. LES TECHNIQUES DE TRAVAIL DU BOIS

1. Les outils

Pour l'abattage et la mise en œuvre du bois, des outils, attestés archéologiquement, sont utilisés dès la Préhistoire puis la Protohistoire (sites palaffites des lacs suisses). La plupart appartiennent à la catégorie du mobilier métallique. Les formes de ces outils pour l'époque gallo-romaine, sont relativement bien adaptées aux diverses activités artisanales. De plus, ils ne subissent que peu de changement jusqu'à l'époque moderne. Par exemple, le débitage du bois en madriers et en planches se fait certainement par refente à l'aide d'un coin et d'une masse, d'une hache, d'une herminette ou d'une gouge. Dans les Alpes suisses, quelques rares scies sont connues, mais étant de taille réduite, elles doivent plus servir au travail de petites pièces de bois qu'au sciage en long d'un tronc d'arbre. En France, sur certaines planches, des traces caractéristiques de scie de long sont attestées, malgré une lourde manipulation[84], car un tel emploi limite la perte de matière[85, 86] (FIGURE 4).

FIGURE 4 - Peinture murale illustrant deux personnes sciant du bois avec une scie de long. Pompéi, Région VI. 7. 8. Musée National d'Archéologie, Naples. ©SAILKO 2008.

Les outils mis au jour lors de fouilles archéologiques concernent, dans la majorité des cas, à des parties en métal conservées, la partie en bois ayant disparu ou étant à restaurer ou à restituer théoriquement[87]. Par exemple, la plane est un couteau à deux manches servant à aplanir une surface de bois (crée des copeaux de bois). Le ciseau droit possède un tranchant plat et étroit et sert à obtenir une surface plate. Il peut être utilisé avec ou sans percuteur. Le bédane est un outil proche du ciseau à bois, mais dispose d'un long tranchant biseauté, efficace pour obtenir des parois verticales, lors du creusement d'une mortaise par exemple. La gouge a une extrémité en forme de canal, laissant une trace creuse caractéristique. Comme le ciseau, elle peut être utilisée avec un percuteur. La tarière ressemble beaucoup à la gouge mais est plus allongée ; elle est plutôt employée pour perforer le bois avant le chevillage notamment. La carrelette est une pièce plate qui permet d'user la matière par frottement[88].

[84] Sur chevalet ou trétaux à deux personnes : une sous le bois dans une fosse, une autre personne dessus.
[85] ADAM 1989 ; GINOUVÈS, MARTIN 1985 ; AUDOUZE, BUCHSENSCHUTZ 1989 ; PÉTREQUIN 1991 ; BERNARD 2003 ; CURDY, KAENEL 2006, 264 ; GUITTON *ET AL.* 2016A ET B.
[86] Attestation de traces de scie circulaire sur les bois des caissons de Rezé ; travaux de F. ÉPAUD en cours.
[87] Exemple du site de Vertault (21), TISSERAND 2011.
[88] BERTRAND *ET AL.* 2009, 53-55.

La hache, l'herminette et la doloire sont les premiers outils connus. Avec la colonisation romaine de la Gaule, la hache semble devenir l'outil le plus usité. Le rabot, dont aucun indice archéologique ne semble démontrer l'existence avant la période de l'Empire, apparaît et est attestée par Pline qui décrit les copeaux qu'il forme en passant sur le bois (*cf. infra*). Au stade du débitage, la hache est utilisée pour la coupe longitudinale mais elle ne suffit que pour les bois à fibres. Pour le façonnage, l'herminette ainsi que de toute la gamme des ciseaux, des poinçons et des gouges sont employées avec ou sans le secours du marteau en bois dur. L'emploi du foret est attesté pour l'Antiquité. La date de l'apparition du tour à bois est actuellement discutée, mais on peut dire, à partir des témoins archéologiques, que dès l'époque gréco-romaine, tout cet outillage était utilisé[89].

Pline L'Ancien, Livre XVI, Chap. 82, 225

[…]Spectabilis ramentorum crinibus, pampinato semper orbe se uoluens ad incitatos runcinae raptus, eadem e cunctis maxime sociabilis glutino in tantum, ut findatur ante qua solida est.

[…] Il (le sapin) est remarquable pour ses **copeaux chevelus,** car il s'enroule comme une vrille aux passes rapides du **rabot** ; c'est celui de tous les bois **qui s'unit le mieux par le collage,** au point de se fendre plutôt là où il est d'une pièce.

Dans certains cas exceptionnels de conservation des objets, les traces indirectes des outils ayant servi à le façonner sont parfois visibles : coin de hache, reprises, équarrissage, insistance sur un noeud, *etc.* ; ces traces sont visibles sur les bois du site de Rezé (44)[90]. Toutefois, certaines étapes de grattage et de polissage de l'objet en bois ne peuvent être réellement déterminées si la déformation de la surface du bois a été trop importante : carbonisation, lessivage. Des pièces de gros débit peuvent ainsi porter des traces de coups de hache. Il y a des cas, par exemple à Charavines (38) pour des bois de la période néolithique[91].

2. Les techniques de débitage et d'assemblage du bois

Grâce aux bois gorgés d'eau découverts, quelques techniques de débitage, en lien avec les outils décrits précédemment (*cf. supra*) ont pu être détaillées. À la suite de l'abattage, les pièces utilisées pour la construction sont extraites des différentes parties de l'arbre, essentiellement du tronc, mais aussi de certaines grosses branches. Le travail du bois dépend des essences et de l'utilisation que l'on veut en faire : charpenterie, menuiserie, ébénisterie... La manière dont les pièces de bois sont débitées puis liées entre elles au sein de l'ouvrage, renforce ou affaiblit les propriétés mécaniques du bois.

Le tronc d'arbre abattu et débarrassé de ses branches porte le nom de grume. Elle peut être équarrie ou toujours sous la forme de bille* avec son écorce. C'est sous forme de grume que le bois va le plus souvent quitter la forêt. Un temps de stockage ou de séchage en plein air semble nécessaire pour enlever la sève restante, période idéale d'infestation pour de nombreuses espèces d'insectes xylophages. La sève, si elle n'est pas retirée, peut faire travailler le bois des années après son abattage : un séchage trop rapide entraîne des retraits.

[89] MARCADÉ 1974, TISSERAND 2011.
[90] *Cf.* Chapitre IV, page 274.
[91] NOËL, BOCQUET 1987, 88-89.

Pour le chêne, une trace noire peut couler le long des maçonneries (tanin)[92]. Le bois est généralement débité dans le droit fil, c'est-à-dire dans le sens des fibres du bois. Ses qualités mécaniques sont ainsi bien meilleures et il se déformera moins qu'une pièce débitée à l'oblique. Le débitage peut être très limité et laisser le bois sous la forme de bille ou de demi-billeavec ou sans écorce, gardant ainsi, en partie, la forme originelle de l'arbre (FIGURE 5 a)[93]. Le débitage sur plot*[94] est majoritairement attesté et donne lieu à l'obtention de différents types de planches. Le débitage sur dosse[95] est attesté : il consiste à débiter des planches parallèlement à l'axe du tronc (FIGURE 5 b) ; Théophraste parle de notion de débitage (livre V, 1, 10) à quadruple débit correspondant au débitage sur quartier (ou refend)[96], c'est-à-dire que le débitage des planches s'effectue en suivant la ligne médiane d'un des quatre quarts ou quartiers définis dans le diamètre du tronc (FIGURE 5 c) ; Lorsque le débitage du bois s'effectue de manière intermédiaire entre la dosse et le quartier, on parlera de « faux quartier »[97].

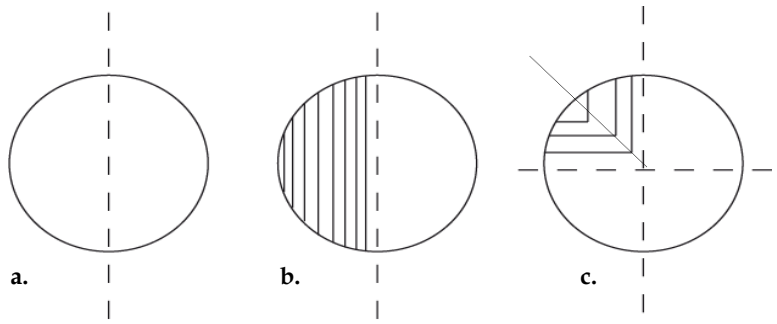


FIGURE 5 - Schéma simplifié des débitages du bois attestés pour l'époque romaine.

Il existe différents assemblages pour le maintien et la confection de structures en bois ouvragé tels que les tenons et mortaises, les clous, les chevilles et la colle végétale ou animale. Leur fonction est d'assurer la solidité d'un ouvrage en bois qui portera de lourdes charges et ainsi d'éviter un mouvement latéral ou longitudinal des pièces de bois. L'assemblage de ces pièces peut se faire par fixation entre elles par clouage, broche, vis, ou chevillage. Dans certains cas, il n'y a pas d'outil particulier à utiliser si ce n'est le bois lui-même : par exemple, pour superposer deux pièces, il est possible de les assembler à mi-bois. Le système de tenon et mortaise est l'un des plus employés dans la charpente, il peut être renforcé par l'utilisation de clous. Les formes du tenon et mortaise peuvent être très variées[98]. Les pièces de bois obliques (chevron par exemple) sont fixées le plus souvent par broche, clou, ou tenon et mortaise. L'assemblage des pannes se réalise à l'aide de chantignoles de bois ou avec des clous fixés sur l'arbalétrier pour que les pannes ne glissent pas. Plusieurs méthodes sont parfois employées dans les assemblages d'une même construction. À ces méthodes de liaison peuvent être ajouté le textile, telle que des cordes, ou la matière animale. Le laçage au moyen de lanières de cuir, d'étoffe ou de fibres a longtemps perduré, avant

[92] MARCADÉ 1974 ; SHASMOUKINE 1980 ; ADAM 1989.
[93] Simple débit.
[94] Technique de débitage des planches sur un même plan longitudinal du bois (coupe transversale).
[95] Double débit.
[96] Quadruple débit.
[97] BERNARDI 1995 & 2007 ; PILLONEL 2007 ; PILLONEL, REGINELLI SERVAIS 2007 ; ÉPAUD 2017.
[98] *Cf.* site de Rezé, Chapitre IV, page 266.

d'être peu à peu remplacé par la cheville, dès l'époque gallo-romaine. La colle (le lamellé-collé) d'origine animale était plutôt utilisée pour l'ébénisterie[99].

Diverses constructions en bois sont bien connues en archéologie : planchers, charpente, parois verticales... Une paroi verticale est un ouvrage de charpenterie formant un mur ou une cloison à ossature en bois, placé soit à l'extérieur (façade) soit à l'intérieur pour clore une pièce[100]. Elles peuvent être faites de pierre et de bois, de terre et de bois comme le clayonnage où des branches, souvent de noisetier, sont entrelacées, le tout étant lié par de la terre crue. Il s'agit d'une technique mentionnée notamment par Vitruve (Livre II, 1, 3). D'autres parois, vraisemblablement confectionnées par les populations gauloises, sont entièrement en bois (pans de bois), elles sont également mentionnées par Vitruve (Livre II, 1, 4).

Vitruve, Livre II, Chap. 1, 3

[…] Primumque furcis erectis et virgulis interpositis, luto parietes texerunt […].

[…] Ils commencèrent par dresser des pieux fourchus, y **entrelacèrent des branchages et recouvrirent de boue ces parois** […].

Vitruve, Livre II, Chap. 1, 4

[…] Apud nationemm Colchorum in Ponto propter siluarum abundantiam arboribus perpetuis planis dextra ac sinistra in terra positis, spatio inter eas relicto quanto arborum longitudines patiuntur, conlocantur in extremis partibus earum supra alterae transuersae, quae circumcludunt medium spatium habitationis.Tunc insuper alternis trabibus ex quatuor partibus angulos iugumentantes, et ita parietes arboribus statuentes ad perpendiculum imarum, educunt ad altitudinem turres, interuallaque quae relinquuntur propter crassitudinem materiae schidiis et luto obstruunt. Item tecta, recidentes ad extremo [angulos] transtra, traiciunt gradatim contrahentes, et ita ex quattuor partibus ad altitudinem educunt medio metas, quas fronde et luto tegentes efficiunt barbarico more testudinata turrium tecta.

[…] En Colchide, dans le Pont, où les forêts sont abondantes, on dispose à plat sur le sol, à droite et à gauche, des arbres d'une seule pièce, **on laisse entre eux un espace proportionné à leur longueur** et l'on dispose transversalement sur ces arbres, à leurs extrémités, d'autres arbres qui circonscrivent l'espace intérieur de l'habitation. De plus, liant ensuite les angles, sur les quatre faces, **avec des poutres disposées en alternance, et dressant ainsi les murs avec des arbres placés à l'aplomb de ceux du bas**, ils élèvent des tours et **ils bouchent, à l'aide de copeaux et de boue, les vides que laisse le bois mal dégrossi.** Ils mettent par ailleurs en place une toiture, en diminuant à leurs extrémités et avec un resserrement progressif, la longueur des traverses et, à partir des quatre faces jusqu'au point supérieur médian, ils forment ainsi un toit en pavillon **qu'ils recouvrent de feuillage et de boue, réalisant un type barbare de couverture « testudinée » (à quatre pans)** de tours.

Le plancher se compose de solives (s'appuyant sur des murs ou des solins), de sablières et de planches. Le plancher étant constitué par les solives placées parallèlement, il faut transformer cet ouvrage dit « à claire-voie » en surface utilisable, c'est le but des hourdis. Les planches jointives sont parfois liées entre elles et avec la solive de support par des clous[101].

Un assemblage de pièces de bois, pour la charpenterie, qui est destiné à supporter la couverture d'un bâtiment, se nomme « combles ». L'ensemble de cette structure est établi avec une pente convenable, suivant le mode de couverture adopté, pour rejeter les eaux de pluies. Le toit peut ainsi être à une ou plusieurs inclinaisons (un ou deux pans). La charpente est composées de diverses pièces de bois horizontales, décrites notamment par Palladius : le

[99] MARCADÉ 1974 ; BARBEROT 1911, 7-41 ; CURDY, KAENEL 2006, 264-265.
[100] BARBEROT 1911, 103-113 ; Exemple du site du col d'Adon, Chapitre IV, page 226.
[101] DÉMARET 1941, p. 126 ; Cas de Barzan, p. 194 ; du couvent des Jacobins, p. 204 ; et de l'îlot Camelin, p. 313.

faîte au sommet, les plate-formes ou sablières hautes qui sont supportés par les murs et les nombreuses pièces intermédiaires, appelées pannes et chevrons (pièces obliques). L'ensemble de ces pièces reposent sur des pignons (en maçonnerie) ou des fermes (en charpente).

Palladius - *Traité d'Agriculture*, Livre I, Chap. 13, 1.

[...] Itaque aut tabulis faciemus aut cannis hoc genere : asseres ligni Gallici uel cupressi directos et aequales constituemus in eo loco ubi camera facienda est, ita ordinatos ut inter se sesquipedalis mensura sit vacua ; tunc eos catenis ligneis ex iunipero aut oliva aut buxo aut cupresso factis ad contignationem suspendemus et binas inter eos perticas dirigemus tomicibus adligatas.

[...] On emploiera donc pour cela des **planches ou des cannes**, en procédant de la manière suivante : on posera horizontalement des **poutres** de bois des Gaules ou de cyprès là où l'on doit construire le **plafond**, en laissant entre elles un **intervalle d'un pied et demi** ; on les fixera ensuite à la charpente du toit à l'aide de **chevilles en bois de genévrier, d'olivier, de buis ou de cyprès,** et entre chaque poutre on placera deux perches **attachées avec des cordes**.

Ce sont ces pièces intermédiaires qui, recouvertes d'un voligeage ou garnies de lattes (lattis), portent la couverture. Cette dernière est réalisée à partir de divers matériaux comme le chaume ou d'autres végétaux, ou encore la *tegula* qui apparaît dans la Gaule Narbonnaise dès le Ier s. av. J.-C. Ces deux techniques sont mentionnées par Vitruve (Livre II, 1, 3 et 7).

Vitruve, Livre II, Chap. 1, 3

[…] Alii luteas glaebas arefacientes, struebant parietes, materia eos iugumentantes, vitandoque imbres et aestus, tegebant arundinibus et fronde. Posteaquam per hibernas tempestates tecta non potuerunt imbres sustinere, fastigia facientes luto inducto, proclinatis tectis stillicidia deducebant.

D'autres maçonnèrent **des murs avec des blocs de boue séchée et un chaînage de bois,** et ils **recouvraient de roseaux et de feuillages** pour se protéger des pluies et des fortes chaleurs. Ces couvertures n'ayant pas résisté aux pluies, dans les intempéries hivernales, **ils les firent à deux pans et enduisirent de boue les deux versants de la toiture,** canalisant ainsi la descente des eaux.

Vitruve, Livre II, Chap. 1, 7

Tum autem instruentes animo se ac prospicientes maioribus cogitationibus ex uarietate artium natis, non casas, sed etiam domos fundatas et latericiis parietibus, aut e lapide structas, materiaque et tegula tectas perficiere coeperunt. […]

Enrichissant alors leur esprit et développant des projets de conception plus complexe – fruit de la diversité des arts-, ils entreprirent de réaliser, **non des cabanes, mais des maisons sur fondations, construites avec des murs de briques ou de pierre et couvertes d'une charpente et de tuiles** […].

La dégradation du bois varie d'intensité en fonction de la situation de l'ouvrage, de sa conception et des acteurs biologiques (insectes, champignons) et abiotiques (atmosphère ambiante, intempéries, air...) présents et/ou intervenant. Au sein d'un bois, l'aubier est périssable tandis que le duramen est généralement plus résistant. Ce qu'on qualifierait aujourd'hui « d'erreurs » de conception d'un bâtiment a pour origine la méconnaissance de l'existence ou la mésestimation des dégradations biologiques. Ceci contribue à de graves problématiques économiques en plus de problèmes de construction (*cf. infra*). Le terme imputrescible est à nuancer car ce n'est pas une valeur absolue mais il dépend en réalité du contexte de l'ouvrage.

III. LES INSECTES DU BOIS ET L'HOMME : UNE RELATION COMPLEXE

A. LA PLACE DES INSECTES DANS LES SOURCES ANTIQUES

Que pensaient les auteurs grecs et latins des insectes xylophages ? Les connaissaient-ils ? Avaient-ils des moyens pour les éloigner, les neutraliser et protéger ainsi les bois ouvragés ? À partir de la seule littérature savante, peut-on vraiment généraliser à l'ensemble de la société romaine la connaissance des ravageurs ?

1. De rares représentations figurées

Les insectes et autres arthropodes que l'on connaît aujourd'hui existent sous la même forme depuis le tout début du Quaternaire (Pléistocène et Holocène), voire même antérieurement, pour certaines familles[102]. Or il est rare de rencontrer ces animaux dans les différentes représentations artistiques, religieuses ou utilitaires dans l'Antiquité.

Les Égyptiens semblent être la civilisation qui représente le plus fréquemment un insecte : l'image du scarabée ou bousier (un coléoptère) en orfèvrerie et sur les fresques demeure célèbre. Le dieu Khépri est d'ailleurs à son effigie (un humanoïde à tête de scarabée). Le bousier est considéré comme sacré, faisant renaître tous les matins le soleil en le faisant rouler devant lui comme il le fait avec le fumier dans lequel il pond. Les plus anciennes représentations de scarabées datent de 2000 ans av. J.-C., soit bien avant notre ère d'étude. Il est toutefois intéressant de constater la prise en considération de cet animal de petite taille (quelques centimètres) pour cette période.

L'abeille est également l'insecte (hyménoptère) le plus souvent représenté. Elle possède une symbolique très forte pour beaucoup de civilisations et d'époques (pour les civilisations Égyptienne et Maya jusqu'à Napoléon notamment). Autre civilisation et autre insecte, chez les Samouraï du XVIe s., il était possible d'orner le casque de son armure avec une fine sculpture représentant une libellule, symbole de ténacité[103].

Plus proche de notre positionnement chronologique, la déesse grecque de la chasse Artémis, dans ses représentations fameuses, datant entre le VIe et le IIe s. av. J.-C. est vêtue d'un fourreau orné

FIGURE 6 - Artémis d'Éphèse et détails de l'abeille sur le fourreau, conservée au musée d'Archéologie Nationale de Naples, IIe s. av. J.-C., © 2015. Photo: Ilya SHURYGIN (http://ancientrome.ru/art/artworken/img.htm?id=7388).

[102] Ph. PONEL, communication orale.
[103] Musée du Quai Branly, 2017.

d'animaux. Sur la partie haute du corps, la déesse est représentée avec de nombreux seins (œufs ou testicules de taureau selon les interprétations). Sur le fourreau, des abeilles sont sculptées sur les côtés au niveau de ses genoux, et sont interprétées comme une affiliation à des divinités orientales[104] (FIGURE 6). On peut également observer un scorpion sur son collier, interprété comme un signe du zodiaque.

Quelques représentations d'insectes sont visibles sur des monnaies antiques, notamment des tétradrachmes d'argent provenant d'Ionie (Éphèse) et datant du VIe s. av. J.-C., avec une abeille sur une face (FIGURE 7 a). Un coléoptère, probablement nécrophage[105], est représenté sur une monnaie républicaine de type héliobole découverte à Ventabren (13), pesant 0,15 à 0,20 g avec un coléoptère sur l'endroit et un croissant (de lune ?) sur l'envers, datée de 150-100 av. J.-C (FIGURE 7 b)[106].

a. **b.**

FIGURE 7 - a. Monnaie d'Ionie avec une abeille représentée. **b.** Héliobole républicaine avec un coléoptère (cl. tirée de FEUGÈRE, PY 2011, p. 173).

Une recherche spécifique pourrait être envisagée afin de recencer d'autres représentations d'insectes, notamment dans les peintures, les bas-reliefs, les mosaïques voire même les peintures sur vase. Pour l'heure, à notre connaissance, il y a une représentation de sauterelle sur la *mosaïque de Silène* d'El Jem, provenant de la maison de Silène en Tunisie et datée du IIIe s. apr. J.-C. Ainsi, les insectes présents dans l'iconographie sont, pour le peu qu'il en existe, symboliques : ils sont liés aux dieux et relèvent du domaine cultuel (Artémis/Diane, Zodiaque). Il existe d'autres exemples de représentations d'insectes, notamment de sauterelles (FIGURE 8), sur la mosaïque du *Triomphe de Dionysos* d'El Jem, conservé au musée du Bardo.

FIGURE 8 - Détails de la mosaïque de Silène, trouvée et conservée à El Jem avec la sauterelle, cl. R. RÊVE.

[104] Musée du Louvre, 2016.
[105] Ph. PONEL communication orale.
[106] FEUGÈRE, PY 2011.

2. Insecte : une terminologie antique

Dans les textes en grec, Aristote (343 av. J.-C.)[107] parle des animaux segmentés, *ἔντομα*, *entoma*, signifiant littéralement « animaux découpés en segments » pour désigner les insectes : c'est l'origine du mot entomologie. Chez son élève, Théophraste *σχώληχες* est traduit dans les collections classiques d'éditions françaises par « vers » et *ἀθριπηδέστατον* par « très peu sujet à la vermoulure ». Une distinction du mot vrillette, et ainsi de la famille des Ptinidae, a pu être proposée pour le terme *θρίπες*. Pour le vocabulaire latin, un recensement des termes pouvant désigner les insectes a été systématiquement utilisé dans toute la littérature savante. Les résultats sont synthétisés dans le tableau proposé ici (TABLEAU 1).

TERME LATIN	AUTEUR	BIBLIOGRAPHIE	SIGNIFICATION
Animalia	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XI, Chap. 1, 1	Animaux dont font partie le monde des insectes
Animalium	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XII, chap. 7.	Insectes des vêtements (mites ?)
Aries	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre I, Chap. 5,3	Pourriture du bois
Bestiis	Palladius	Traité d'Agriculture, livre I, Chap. 35, 7	Bêtes nuisant aux arbres
Bestiola	Varron	De Rustica, livre I, Chap. 12, 2	Microbe générant la malaria
Bestiolas	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre VI, Chap. 6, 4	Insectes des grains
Carie	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre VII, Chap. 3, 1	Pourriture du bois
Cariem	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre II, Chap. 9, 6 et 12	Pourriture du bois
Caries	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre V, Chap. 12, 7	Pourriture du bois
Corrumpi	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre II, Chap. IX, 3	Pourriture du bois
Cosses	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XVII, Chap. 37, 220-221	Cossons, désignant plutôt une sorte de capricorne ?
Cossi	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XI, Chap. 38, 113	Cossons (type charançon) xylophage
Curculio	Caton ; Varron	*De Agricultura*, Chap. 101, 92 ; *De Rustica*, livre I, Chap. 57, 1-2	Charançon des blés
Curculionem	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre VI, Chap. 6, 4	Charançon des blés
Curculiones ; *Curculionibus*[108]	Varron ; Palladius	*De Rustica*, livre I, Chap. 63, 1 ; Traité d'Agriculture, livre I, Chap. 19, 2	Charançon des blés
Formicae	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XVII, Chap. 47, 266	Fourmis
Fungum	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XVII, Chap. 37, 223	Champignon attaquant le bois sur pied
Insecta	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XI	Insecte au sens large
Iulius	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XI	Iule (mille patte)
Teredini	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XI, Chap. 1, 2	Taret, *teredo navalis* ?
Tineis	Vitruve	Vitruve, *De Architectura*, livre II, Chap. 9, 13 et livre VI, Chap. 4, 1	Vers ; teignes des livres (*Nicobium* ou les mites[109] ?)
Uermem ; *Uermiculantur*	Varron ; Pline L'Ancien	De Rustica, livre I, Chap. 57, 1-2 ; Hist. Nat., livre XVII, Chap. 37	Vers ; Vers mangeant les blés
Uermes	Palladius	Traité d'Agriculture, livre II, Chap. 15, 3	Vers du sorbier
Uermiculi	Pline l'Ancien	Hist. Nat., livre XII, Chap. 43, 55.	Larves, vermisseaux

TABLEAU 1 : Liste des termes latins relevés dans les textes antiques en rapport avec les insectes.

[107] *Historia Animalium,* Livre VIII - chapitre 7 (texte parvenu depuis Constantinople, XIIe siècle) ; PELLEGRIN 1982.

[108] Noté dans le texte *Gurgulionibus*, probable erreur ancienne des copistes, puisque traduit aujourd'hui par le même mot.

[109] Le nom actuel scientifique de certaines espèces de mites est *tinea*. *Nicobium* est une vrillette, à l'origine xylophage et spécialisée dans la dégradation de livres et de papiers.

Le recensement montre qu'il existe plusieurs termes génériques en latin pour désigner les insectes selon les auteurs : Pline utilise les motsgénéraux *animalia*et *insecta*, tandis que Palladius, Varron et Vitruve préfèrent plutôt le terme *bestiola*. Mais le passage ci-dessous tiré de Varron montre que cet auteur utilise également le terme *animalia* pour décrire des petits organismes (bactéries, acariens, virus ou insectes[110] ?) qui rendent malades.

Varron, *De Rustica*, Livre I, Chap. 12, 2

Auertendum etiam, siqua erunt loca palustria, et propter easdem causas, et quod [arescunt] crescunt ***animalia*** *quaedam minuta, quae non possunt oculi consequi, et per aera intus in corpus per os ac nares perueniunt atque efficiunt difficilis morbos.*

Il faut aussi, s'il y a des endroits marécageux, la tourner en sens opposé, d'abord pour les mêmes raisons, et ensuite parce qu'il se développe certains **petits animaux, invisibles à l'œil,** qui par la respiration pénètrent dans le corps à travers la bouche et les narines, et y **créent de périlleuses maladies**

Pline donne une longue définition de ce qu'est un insecte. Il en décrit assez précisément l'anatomie, ainsi que les divers groupes d'insectes et de ce qui fait un insecte (sections du corps). Il prend exemple des abeilles (hyménoptères), des fourmis (*formicae*) et des iules (*iulius*, mille pattes). De nos jours, les insectes sont des organismes comprenant six pattes. Les iules ou scolopendre n'en font donc pas partie : ce sont des myriapodes. Leur point commun est cette division du corps en section et le fait qu'ils sont dépourvus de sang. Pline compare rapidement la difficulté de comprendre un insecte avec les autres animaux. Il pose de nombreuses questions concernant les sens (odorat, ouïe) et se demande comment ils vivent.

Pline l'Ancien, Livre XI, Chap. 1, 1

(1) *Restant inmensae subtilitatis animalia, quando aliqui ea neque spirare et sanguine etiam carere prodiderunt.*
I. *Multa haec et multigenera, terrestrium uolucrumque uita. Alia (pedata ut iulius, alia) pinnata, ut apes, alia utroque modo, ut formicae, aliqua et pinnis et pedibus carentia ; et iure omnia insecta appellata ab incisuris quae nunc ceruicium loco, nunc pectorum atque alui, praecincta separant membra, tenui modo fistula cohaerentia, aliquis uero non tota incisurae ambiente ruga, sed in aluo aut superne tantum imbricatis flexili uertebris ; nusquam alibi spectatiore naturae rerum artificio.*

(1) Restent les **animaux** d'une étude infiniment délicate, puisque certains auteurs ont prétendu qu'ils **ne respirent pas** et qu'ils sont même **dépourvus de sang**.
I. Les **insectes** sont nombreux et de nombreuses espèces ; ils vivent sur terre ou dans l'air. Les uns ont des pattes, comme **l'iule** ; d'autres, des **ailes**, comme les **abeilles** ; d'autres ont l'un et l'autre, comme les **fourmis** ; certains sont à la fois aptères et apodes ; et tous ont été justement **appelés insectes, à cause des incisions qui, à la place tantôt de la nuque, tantôt du thorax et de l'abdomen, divisent en segments les diverses parties de leurs corps, qui ne tiennent entre elles que par un mince canal.** Chez quelques uns, du reste, le pli formé par l'incision ne fait pas tout le tour du corps, mais il se trouve seulement dans l'abdomen, ou dans le dessus du corps, et il est flexible grâce à un système d'articulations emboîtées l'une dans l'autre ; nulle part ailleurs l'habileté de la nature n'apparaissant d'avantage.

Dans la suite du texte, qui mériterait d'être étudié de manière plus approfondie, Pline débat sur la respiration ou non des insectes, indique qu'ils n'ont pas d'os ni de nerfs mais qu'ils possèdent en revanche le sens de l'avenir (fourmis qui préparent l'hiver). Dans la

[110] Note du traducteur : peut-être désignant les microbes de la malaria.

partie (IV, XXIII., 5-20), il traite longuement des abeilles et de l'organisation de leur travail, dans et hors de la ruche. Puis il distingue les différentes qualités et type de miel, leurs ennemis (frelons et guêpes) et les maladies.

Chez Varron, Palladius et Pline, le même terme de *vermes* semble désigner les vers d'une manière générale du type vers du bois mais très probablement aussi asticots, larves et autres vers d'insectes différents.

3. Les familles et espèces citées dans les textes

- Familles liées à l'agriculture

Quelques noms d'insectes sont plus précis et désignent des familles voire des espèces. C'est le cas par exemple de *Curculio* (*-nes, -nem, -nibus*) qui correspondent aux charançons du blé dans les textes. Bien qu'il soit question de nuisibles des céréales, il a été intéressant de souligner l'utilisation de ces termes par les auteurs latins car il s'agit de l'occurrence la plus fréquente souvent en lien avec une méthode d'éradication (Caton, Palladius, Varron) (*cf. infra*). Ils ont toutefois été ajoutés à la liste car il existe aussi des charançons xylophages et une vérification de chacun des passages a été faite pour être sûr du type de charançon en question. En revanche, s'agissait-il dans tous les cas de charançons (ex: *Sitophilus*), ou plus largement des insectes mangeurs de graines de type *Stegobium paniceum,* laissant ainsi paraître une méconnaissance des insectes dans le détail. Les charançons possèdent un rostre parfois proéminent et facilitant leur identification. Or les textes n'en font pas mention, d'où l'idée d'une possible confusion avec d'autres espèces.

Caton, *De Agricultura*, Chap. 101 (CI), 92

Frumento ne noceat ***curculio*** *neu mures tangant, lutum de amurca facito, palearum paulum addito, sinito macerescant bene et subigito bene. Eo granarium totum oblinito crasso luto ; postea conspargito amurca omne quod lutaveris. Ubi aruerit, eo frumentum refrigeratum condito : curculio non nocebit.*

Pour que les **charançons ne nuisent pas au blé** et que les souris n'y touchent pas, faites un **torchis avec de l'amurque**, ajoutez un peu de paille, laissez-la bien détremper et gâchez bien. Enduisez-en tout le grenier d'une couche épaisse ; après cela, aspergez d'amurque toute la surface enduite. Quand ce sera sec, déposez-y le blé refroidi : les **charançons** ne causeront aucun dommage.

Palladius, Traité d'Agriculture, Livre I, Chap. 19, 2

[…] Sed, factis granariis, amurca luto mixta parietes linuntur, cui aridi oleastri folia uel oliuae pro paleis adiciuntur ; quo tectorio siccato, rursus amurca respergitur, quae ubi siccata fuerit, frumenta condentur. Haec res gurgulionibus et ceteris noxiis animalibus inimica est ; […]

[...] Une fois les greniers construits, leurs parois seront enduites d'amurque mêlée à de la boue, avec en plus, en guise de paille, des feuilles sèches d'olivier sauvage ou cultivé ; quand cet enduit est sec, on y passe une nouvelle couche d'amurque ; quand celle-ci aura séché à son tour, le grenier sera apte à recevoir le blé. **Cette préparation écarte en effet les charançons et les autres animaux nuisibles** [...]

Varron, *De Rustica*, Livre I, Chap. 57, 1-2

(1) Et triticum condi oportet in granaria sublimia, quae perflentur vento ab exortu ac septemtrionum regione, ad quae nulla aura humida ex propinquis locis adspiret. Parietes et solum opere tectorio marmorato loricandi ; (2) Si minus, ex argilla mixta acere e frumento et amurca, quod murem et vermem non patitur esse grana facit solidiora ac firmiora. Quidam ipsum triticum conspargunt, cum addant in circiter mille modium quadrantal amurcae. Item alius aliud adfriat aut aspargit, ut Chalcidicam aut Caricam cretam aut apsenthium, item huius generis alia. Quidam granaria habent sub terries speluncas, quas vocant siros, [...]. Horum solum paleis

substernunt et currant ne umor aut aer tangere posit, nisi cum promitur ad usum. Quo enim spiritus non peruenit, ibi non oritur curculio [...].

(1) Le blé aussi doit être rentré dans des **greniers élevés au-dessus de terre**, ouverts aux vents de l'est et du nord, et tels qu'aucun air humide n'y arrive du voisinage. **Les murs et le sol doivent être revêtus d'un enduit de poudre de marbre.**
(2) À défaut, de **glaise mélangée à de la balle de blé et à de l'amurque, ce qui chasse les souris et les vers** et donne aux grains plus de consistance et de fermeté. Certains aspergent le blé lui-même, **en comptant un quadrantal d'amurque pour environ mille *modii*.** On a encore recours à différentes substances dont on saupoudre ou asperge le blé, comme la **craie de Chalcis, ou de Carie, l'absinthe,** et autres choses de ce genre. Certains ont leurs **greniers sous terre**, des cavernes qu'on appelle des *siri*, [...]. Ils jonchent de paille le sol de ceux-ci et prennent soin que le blé soit à l'abri de l'humidité et de l'air, sauf lorsqu'on l'en tire pour la consommation. **Là en effet où l'air ne pénètre pas, point de charançon**. [...].

Autre terme, celui de *cossi* (cossons), se rapprochant aujourd'hui de celui de *cossoninae* qui désigne une sous-famille de charançons dont la majorité des espèces est xylophage. Est-ce le cas dont parle Pline ici ou y a-t-il confusion ?

Pline l'Ancien, Livre XI, Chap. 38, par. 113, 33

Sic quaedam ex imbri generantur in terra, quaedam in ligno. Nec enim cossi tantum in eo, sed etiam tabani ex eo nascuntur et alias, ubicumque umor est nimius, sicut intra hominem taeniae tricenum pedum, aliquando et plurium longitudine.

De la même façon quelques insectes naissent de la pluie dans la terre ; **d'autres naissent dans le bois**, et non seulement les **artisons** (**cossons**), mais encore les taons, qui naissent aussi d'une autre manière, partout où il y a excès d'humidité, de même, que, dans l'intérieur de l'homme, naissent des ténias de trente pieds de long, et quelques fois plus.

Pline fait également mention des fourmis, du cérastès (cantharides?) et de petits vers rouges, comme ravageurs des arbres et donne des indications pour les chasser (*cf. infra*). Il existe des espèces, de fourmis notamment, réalisant leur fourmilière dans le bois en y creusant des galeries, or il semble plutôt parler ici de ravageurs des fruits et des feuilles.

Pline l'Ancien, Livre XVII, Chap. 47, 266

Sunt arborum pestes et formicae. Has abigunt rubrica ac pice liquida perunctis caudicibus, nec non et pisce suspenso iuxta in unum locum congregant aut lupino trito cum oleo radices linunt. Multi et has et talpas amurca necant [...].

Les fourmis sont aussi un fléau des arbres. On les chasse en **badigeonnant les troncs de terre rouge et de poix liquide** ; on les fait aussi se rassembler en un même lieu en **suspendant un poisson** dans le voisinage, ou bien on **enduit les racines de lupin broyé dans de l'huile**. Beaucoup tuent les fourmis et les taupes avec de **l'amurque** [...].

Pline l'Ancien, Livre XVII, Chap. 37, 220-221

*[...] Maxime autem arborum hoc sentiunt piri, mali, fici, minusquae amarae sunt et odoratae. Eorum, qui in ficis existunt alii nascuntur ex ipsis, alios parit qui uocatur cerastes, omnes tamen in **cerasten** figurantur sonumque edunt paruoli stridoris. Et soruus arbor infestatur uermiculis rufis ac pilosis atque ita emoritur;mespila quoque in senecta obnoxia ei morbo est.*

[...] Les arbres **les plus attaqués sont le poirier, le pommier, le figuier** ; les arbres amers ou odoriférants le sont moins. Parmi les vers des figuiers, **les uns naissent de l'arbre lui-même, les autres sont engendrés par le *cérastès***, ainsi qu'on le nomme, mais tous se transforment en ***cérastès*** et

émettent un petit bruit strident. **Le sorbier est aussi attaqué par de petits vers rouges et velus** qui le font périr. Les épines-blanches aussi, dans leur vieillesse, sont sujette à cette maladie.

- Les familles xylophages

Les insectes mangeurs de bois semblent n'avoir intéressé que trois auteurs dont Théophraste plus particulièrement qui indique que les vieux arbres se font manger par de gros vers. Pline décrit (Livre XI, 38, 113, 33, *cf. supra*) que certains « insectes naissent du bois », il parle également de petits vers (peut-être suceurs de sève) qui produisent de la vermoulure sur l'arbre, or la vermoulure est fabriquée par des larves xylophages.

Théophraste., *HP*, livre 3, Chap. 12, 6

Νόσημα δέ αὐτῶν ἐστιν ὡστε γηράσκουτα σκωληκόξρωτα γίνεσθαι καί οἱ σκώληκες μεγάλοι καί ἰδιοι ἡ οἱ ἐκ τῶν δένδρων τῶν ἀλλων.

« Par suite d'une affection qui leur est propre, **ces arbres deviennent en vieillissant la proie des vers**, de gros vers particuliers, sans rapport avec ceux des autres espèces »

Pline l'Ancien, Livre XII, Chap. 55

[...] In hanc circa canis ortus aduolant pinnati vermiculi erodentes, ob id scobe sordescit [...].

[...] Au début de la canicule, des **vermisseaux ailés** se jettent dessus pour le ronger, ce qui lui donne un **aspect sale et vermoulu** [...].

Un des xylophages le plus souvent rencontré dans les textes est le taret (*Teredo navalis* L.). Décrit par Linné en 1758, le taret commun ou naval[111], est le principal ennemi des coques de bateaux en bois. Il s'agit d'un mollusque aquatique, bivalve et long de plusieurs centimètres, s'attaquant au bois immergés dans l'eau salée. Ce n'est pas à proprement parler un insecte mais il s'agit bien d'un xylophage ayant un fort impact économique. Il est connu des Romains et des Grecs avant eux. Théophraste et Pline appuient leur description du taret en insistant sur ses dents qui lui servent à percer le bois (il se sert également de sa coquille). Théopraste fait une comparaison intéressante entre le taret dans l'eau et la vrillette sur terre. Vitruve traite plus généralement de la confection des hangars à bateaux (cale sèche et port) afin d'éviter l'apparition de divers xylophages (insectes et champignons) dont le taret.

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 4, 4

Φασί δέ καί τήν πεύην ἐλάτης μᾶλλον ὑπό τερηδόνος ἐσθίεσθαι τήν μέν γάρ εἶναι ξηράν, τήν δέ πεύκην ἔχειν γλυκύτητα καί ὅσῳ ἐνδαδοτέρα μᾶλλου πάντα δ' ἐσθίεσθαι τερηδόνι πλήν κοτίνου καί ἐλαίας τά δέ οὔ, διά τήν πικρότητα [τερηδών θρῖπες]. 'Εσθίεται δέ τά μέν ἐν τῇ θαλάττῃ σηπόμενα ὑπό τερηδόνος, τά δ' ἐν τῇ γῇ ὑπό σκωλήκων καί ὑπό θριπῶν οὐ γάρ γίνεται τερηδών ἀλλ' ἢ ἐν τῇ θαλάττῃ. Ἔστι δέ ἡ τερηδών τῷ μέν μεγέθει μικρόν, κεφαλήν δ' ἔχει μεγάλην καί ὀδόντας.

Quant au **pin**, il est, dit-on, **rongé par le taret plutôt que le sapin** car celui-ci est sec, tandis que le pin a une saveur douce, d'autant plus prononcée qu'il est plus résineux ; **le taret ronge tous les bois, excepté l'oléastre et l'olivier** auxquels il ne s'attaque pas à cause de leur amertume. **Les bois qui pourrissent en mer sont rongés par le taret, ceux qui pourrissent sur terre par les vers et par les vrillettes**, car **le taret ne se trouve qu'en mer**. Le taret est un animal de petite taille, mais il a une grosse tête et des « **dents** ».

[111] *Cf.* Volume III, page 153.

Pline l'Ancien, Livre XI, Chap. 1, 3

[...] Quos teredini ad perforanda robora cum sono teste dentes adfixit, potissimumque e ligno cibatum fecit!

[...] Et ces **dents** qu'elle a plantées **chez le taret pour lui permettre de percer les planches de chêne** avec un bruit attestant son œuvre, et **de faire du bois sa nourriture principale** !

Vitruve, Livre V, Chap. 12, 7

His perfectis, naualiorum ea erit ratio ut constituantur spectantia maxime ad septentrionem. Nam meridianae regiones propter aestus cariem, tineam, teredines reliquaque bestiarum nocentium genera procreant alendoque conseruant. Eaque aedificia minime sunt materianda propter incendia [...].

Une fois ces travaux achevés, le plan des hangars à bateaux sera établi de façon à ce qu'ils regardent le plus possible vers le nord. En effet, les orientations méridionales, en raison de la chaleur, **engendrent la pourriture, les vers, les tarets et autres bestioles nuisibles et, en les nourrissant, les maintiennent en vie.** Ces édifices doivent comporter très peu de bois en raison des risques d'incendie [...].

Le terme « *tarmitem* » est traduit par les BL comme « pourriture qui détériore le sapin ». Dans le dictionnaire Gaffiot, « *tarmitem* » vient de « *tarmes* » signifiant vers rongeant le bois. De plus, dans une autre traduction de l'oeuvre de Vitruve : Collection PANCKOUCKE en 1847[112], ce mot est traduit par « termites ». Ces insectes sont de deux types dont un est xylophage avec un très fort impact économique encore de nos jours[113].

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 6

[...] Sed ea, quod habet in se plus caloris, procreat et alit cariem, ab eaque uitiatur [...].

[...] La chaleur cependant qui domine en lui (le sapin) génère et entretient une pourriture qui le détériore […]

La grande famille des Cerambycidae est aussi représentée dans les textes de Théophraste. Il les nomme longicornes, synonyme toujours utilisé aujourd'hui et les décrit à plusieurs occasions dans ses ouvrages *HP* et *CP*. Il liste en même temps plusieurs autres ravageurs du bois : champignons, défoliateurs, suceurs, mangeurs de fruits et les xylophages. Les longicornes semblent pour lui être le xylophage par excellence des arbres sur pied car tous les vers se transforment en longicornes. Il est probable qu'il nomme longicorne plusieurs espèces, non xylophages en plus des capricornes. Chez Pline (Livre XVII, Chap. XXXVII, par. 220-221, *cf. infra*), le terme *cossus*, qui désigne normalement les charançons (xylophages ou non) peut éventuellement être utilisé pour désigner les capricornes. Théophraste compare les arbres sauvages dont les altérations sont naturelles et liées aux éléments (foudre, grêle...) et les arbres cultivés qui sont plus sujets aux infestations d'insectes (Livre IV).

Théophraste, *HP*, Livre VIII, Chap. 10, 5

[...] Πάντα δὲ ἐξαναλώσαντα τὰς τροφὰς ἀπόλλυται καὶ ἐν τοῖς χλωροῖς καὶ ἐν τοῖς ξηροῖς καρποῖς, οἷον οἵ τε ἶπες καὶ ἐν τοῖς κυάμοις ἐγγινόμενοι καὶ ἐν τοῖς ἄλλοις, ὥσπερ καὶ ἐν τοῖς δένδρεσι καὶ ἐν τοῖς ξύλοις ἐλέχθη, πλὴν τῶν κεραστῶν καλουμένων.

[...] **Tous ces insectes meurent après avoir épuisé leur nourriture**, dans les parties vertes et dans les fruits secs ; ainsi les tordeuses de la vigne et les vers qui naissent à l'intérieur des fèves et des autres graines, **de même que dans les arbres et dans le bois**, comme il a été dit, sauf ceux qu'on appelle les **longicornes**.

[112] L'architecture de Vitruve. trad. nouvelle par M. Ch.-L. MAUFRAS, C. L. F. PANCKOUCKE, 1847.
[113] *Cf.* Volume III, page 147.

Théophraste, *HP*, Livre IV, Chap. 14, 1-5, 10

(1) Νοσήματα δὲ τοῖς μὲν ἀγρίοις <οὔ> φασι ξυμβαίνειν ὑφ' ὧν ἀναιροῦνται, φαύλως δὲ διατίθεσθαι καὶ ὑάλιστα ἐπιδήλως ὅταν ἢ βλασράνειν μέλλοντα ἢ ἀρχόμενα ἢ ἀνθοῦντα, καὶ ὅταν ἢ πνεῦμα ψυχρὸν ἢ θερμὸν ἐπιγένηται κατὰ τούτους τοὺς καιρούς [...]
(2) Τοῖς δὲ ἡμέροις ἐστι πλείω νοσήματα καὶ τὰ μὲν ὥσπερ κοινὰ πᾶσιν ἢ τοῖς πλείστοις, τὰ δ' ἴδια [καὶ] κατὰ γένη. Κοινὰ οἷον τό τε σκωληκοῦσθαι καὶ ἀστροβολεῖσθαι καὶ ὁ σφακελισμός. Ἅπ αντα γὰρ ὡς εἰπεῖν καὶ σκώληκας ἴσχει, πλὴν τὰ μὲν ἐλάττους, τὰ δὲ πλείους, καθάπερ συκῆ μηλέα καὶ ἄπιος. Ὡς δὲ ἁπλῶς εἰπεῖν, ἥκιστα σκωληκοῦται τὰ δριμέα καὶ εὐώδη, καὶ ἀστροβολεῖται ὡσαύτως.
(5) Τῶν δὲ σκωλήκων τῶν ἐν ταῖς συκαῖς οἱ μὲν ἐξ αὐτῆς γίνονται, οἱ δὲ ἐντίκτονται ὑπὸ τοῦ καλουμένου κεράστου, πάντες δὲ εἰς κεράστην ἀποκαθίστανται · φθέγγονται δὲ οἷον τριγμόν.
(10) Ἐγγίνονται δὲ καὶ κνῖπες ἔν τισι τῶν δένδρων, ὥσπερ ἐν τῇ δρυῖ καὶ τῇ συκῇ.

(1) Les arbres sauvages, dit-on, **ne sont pas sujets à des maladies qui les détruisent**, mais ils sont mis en piètre état d'une façon particulièrement spectaculaire quand la grêle les frappe alors qu'ils se préparent à bourgeonner, ou pendant la floraison, et aussi quand un vent glacial ou brûlant se met à souffler dans ces circonstances ; [...]
(2) Les arbres domestiques ont davantage de maladies, les unes en quelques sortes générales ou communes à la plupart d'entre eux, les autres propres à chaque genre. Comme affections générales, il y a par exemple la **vermoulure**, les coups de soleil, le **pourridié**. Pour ainsi dire tous les arbres renferment des **vers**, seulement les uns moins, les autres davantage, comme le figuier, le pommier et le poirier. En principe, les espèces âcres et odorantes sont les moins sensibles à la **vermoulure**, de même qu'aux coups de soleil. [...]
(5) [...] **Des vers du figuier, les uns naissent de l'arbre, les autres y sont engendrés par ce qu'on appelle un longicorne, mais tous se changent en longicornes** ; ils font entendre une sorte de crissement.
(10) [...] Il y a aussi des **petites fourmis** qui naissent dans certains arbres, comme dans le chêne et le figuier. Il semble qu'elles se forment à partir de la sève concentrée **sous l'écorce**, qui a une saveur douce.

Théophraste, *CP*, Livre V, Chap. 10, 5

[...]Τοῦτο δ' εὔλογον · ἑκάστῳ γὰρ ἐκ τῆς οἰκείας ὕλης ἡ τροφή. Πλὴν ἴδιον τὸ περὶ τὸν κεράστην καλούμενον ξυμβαῖνον · τοῦτον γὰρ φασι καὶ ἐν τῇ ἐλαίᾳ γίνεσθαι καὶ εἰς συκῆν ἐντίκτειν · ἔχει δὲ ἡ συκῆ καὶ ἐξ ἑαυτῆς σκώληκας καὶ τοὺς ἐντικτομένους τρέφει, πάντες δ' εἰς κεράστην ἀποκαθίστανται · φθέγγονται <δὲ> οἷον τριγμόν.

[...] Et c'est bien normal, car chacun tire sa nourriture de la matière qui lui est appropriée. Fait exception le cas particulier de ce qu'on appelle un longicorne : on dit qu'il naît dans l'olivier et va se reproduire dans le figuier ; le figuier, tout en renfermant les vers nés de lui-même, nourrit ceux qui sont engendrés en lui, mais **tous se changent en longicornes ; ils font entendre une sorte de crissement.**

La famille des Ptinidae et plus particulièrement les vrillettes[114] sont mentionnées, dans l'état actuel des recherches textuelles, uniquement par Théophraste. Il s'agit pourtant d'une des plus grandes menaces pour les bois patrimoniaux et elle semble peu connue des auteurs antiques. Pour rappel, Théophraste[115] compare les vrillettes et les tarets. Dans un autre passage, ci-dessous, il explique que les vrillettes sont engendrées par les longicornes. C'est-à-dire que, dans sa logique, les longicornes font des vers attaquant le bois sur pied, notamment des défoliateurs (ce qui est vrai, or il n'est pas possible d'être sûr qu'il parle des mêmes espèces), mais font également des vers (vrillettes) qui infestent d'autres bois (leurs meubles ?) facilement réparable contrairement aux dégâts du taret.

[114] *Cf.* Volume III, page 103.
[115] *HP*, Livre V, Chap. IV, *cf. supra.*

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 4, 5

Οἱ δὲ θρῖπες ὅμοιοι τοῖς σκώληξιν, ὑφ' ὧν τετραίνεται κατὰ μικρὸν τὰ ξύλα. Καὶ ἔοτι ταῦτα εὐΐατα · πιττοκοπηθέντα γὰρ ὅταν εἰς τὴν θάλατταν ἑλκυσθῇ στέγει · τὰ δὲ ὑπὸ τῶν τερηδόνων ἀνίατα. Τῶν δὲ σκωλήκων τῶν ἐν τοῖς ξύλοις οἱ μέν εἰσιν ἐκ τῆς οἰκείας σήψεως, οἱ δὲ ἐντικτόντων ἑτέρων · ἐντίκτει γὰρ ὥστερ καὶ τοῖς δένδροις ὁ κεράστης καλούμενος, ὅταν τετράνῃ καὶ κοιλάνῃ περιστραφεὶς ὡσπερεὶ μυοδόχον. φεύγει δὲ τά ὀσμώδη καὶ πικρὰ καὶ σκληρὰ διὰ τὸ μὴ δύνασθαι τετρᾶναι, καθάπερ τὴν πύξον.

Les vrillettes ressemblent aux vers ; **c'est par elles que le bois est peu à peu troué. Leurs dégâts se réparent facilement car le bois goudronné, une fois mis à la mer est étanche ; au contraire, ceux des tarets sont irréparables.** Des vers qui vivent dans le bois, les uns naissent de la décomposition à laquelle ils sont liés, les autres y sont engendrés par d'autres insectes. Celui qu'on appelle **longicorne** l**es y engendre comme il le fait dans les arbres**, quand il a réussi à percer et à creuser en tournant en rond une sorte de trou de souris. Mais **il évite les bois odorants, amers ou durs**, comme le buis, parce qu'il ne peut pas les percer.

Un autre xylophage, de bois frais, appartenant à la famille des scolytes est décritpar Théophraste. Il indique qu'après l'abattage de l'arbre, s'il n'est pas écorcé, des larves vont venir se loger sous l'écorce. Les scolytes sont attestés ici en raison de la description des effets produits par les larves de cette espèce parfaitement bien décrits par la formation de galeries typiques, qui sont généralement géométriques. Il fournit aussi une anecdote amusante et qui serait intéressante à confirmer archéologiquement, sur ces galeries qui pouvaient servir de sceaux.

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. I, 2

Τὰ δὲ μετὰ τὴν τέτανσιν τῶν καρπῶν ἄβρωτα διαμένει, κἂν ἀλόπιστα ᾖ, πηὴν ὑπὸ τὸν φλοιὸν ὑποδυόμενοι σκώληκες ἐπιπολῆς ἐγγράφουσι τὸ στέλεχος, οἷς καὶ σφραγῖσι χρῶνταί τινες. Ὡραῖον δὲ τμηθὲν τὸ δρύϊνον ἀσαπές τε καὶ ἀθριπηδέστατον γίνεται καὶ σκληρὸν καὶ πυκνὸν ὥσπερ κέρας - πᾶν γὰρ ὅμοιόν ἐστιν ἐγκαρδίῳ - πλὴν τό γε τῆς ἁλιφλοίου καὶ τότε φαῦλον.

Les bois coupés après la maturité des fruits restent intacts, même s'ils ne sont pas pelés, à ceci près que **des vers s'insinuent sous l'écorce et font sur le tronc des gravures superficielles que certains utilisent comme sceaux**. Coupé au bon moment, le bois de chêne est à la fois imputrescible et très peu sujet à la **vermoulure**, dur et compact comme de la corne, étant tout entier semblable à du bois de cœur, à l'exception de celui du cerre qui même alors est de qualité médiocre.

- Autres mentions et probables confusions

Cette petite sous-partie rassemble les attestations textuelles un peu plus complexes et donc difficiles à interpréter au prisme de l'entomologie en ce sens qu'elles peuvent correspondre à la description et aux effets produits par plusieurs espèces différentes d'insectes.

Les quelques lignes du mythographe Antonios LIBERALIS, racontent, d'après Nicandre[116] la métamorphose de Kérambos, fils de Poseidon et d'une Nymphe du Mont Othrys (c. 22), en « Mange-bois ». D'après la description qui suit, il s'agit bel et bien du lucane (cerf-volant), un gros coléoptère qui est en réalité plus saprophage que xylophage, or le terme mange-bois est intéressant ici pour le qualifier. Une autre anecdote est relatée : les enfants se servent de la tête du lucane, qui est très reconnaissable « en forme de lyre », un peu comme d'une amulette de protection ou d'un jouet.

[116] *Ιστορεί Νίκαναρος εν α Ἑτεροιον μένων* ; GOOSSENS 1948.

Antonios Liberalis, d'après Nicandre, tiré de GOOSSENS 1948

§ 1. Νύμφαϊ δε μετέβαλον κατ' όργήν τον Κέραμβον δτι ανταϊς ελοιδόρησε, και εγένετο νλοφάγος κεράμβνξ. [§ 2.] Φα νεται δε επί τών ξύλων, και εστίν αγκύλος εκ των οδόντων, και συνεχώς τα γενεια κινών, μελάς, παραμήκης, πτέρυγας στερεάς έχων, εοικώς τοις μεγάλοις κανΟάροις. [§ Λ.] Ούτος ξυλοφάγος βοϋς καλείται, παρά δε Θετταλο'ις κεράμβνξ. [§ 4.] Τούτον οι παίδες παίγνιον εχονσι, και την κεφαλήν άποτέμνοντες φέρονσιν ή δε εοικε σύν τοϊς κερασί λύρα τγ\ εκ της χελώνης.

§ 1. « Les Nymphes, irritées de ces insultes, métamorphosèrent Kérambos, et **il devint un κεράμβυξ mange-bois**. § 2. (Cet insecte) se montre sur les arbres ; il a les dents recourbées, et remue continuellement les mâchoires. Il est noir, allongé, avec des ailes cornées, **ressemblant aux grands scarabées** (κανθάροις). § 3. **On l'appelle bœuf xylophage**, et en Thessalie κεράμβνξ. § 4. Les enfants s'en font un jouet. Ils lui coupent la tête et emportent (ou portent sur eux, φοροϋσιν ?) cette tête coupée. **Celle-ci, avec les cornes, ressemble à une lyre faite d'une écaille de tortue** ».

Une probable confusion concerne Pline qui écrit au sujet des vers xylophages qu'il nomme cette fois cosson et gros vers du rouvre et indique qu'ils étaient élevables (à la farine) et mangeables. Les *cossus*, comme il a été dit plus haut, correspondent vraisemblablement aux charançons de blé. Or la mention de « sous l'écorce » indique plutôt un insecte cambiophage* et permet de proposer d'autres espèces comme les scolytes, ou de plus grande taille comme les capricornes. Les insectes de type scolytes, à l'état larvaire, sont très petits (quelques millimètres), il est difficile d'en imaginer un repas. Il y a probablement confusion avec des larves de plus grande taille comme celles des capricornes. Mais, une fois de plus, il indique l'élevage avec de la farine ce qui induit plutôt une espèce de type *Tenebrio molitor* qui est un sapro-xylophage, psichophage et nécrophage (donc plus polyphage*) qui aide à la décomposition de la matière organique (compost par exemple) mais qui s'adapte bien à la farine[117].

Pline l'Ancien, Livre XVII, Chap. 37, 220

Vermiculantur magis minusue quaedam, omnes tamen fere, idque aues caui corticis sono experiuntur. Iam quidem et hoc in luxuria esse coepit, praegrandesque roborum delicatiore sunt in cibo - cosses uocant - atque etiam farina saginati hi quoque altiles fiunt […].

Certains arbres sont plus ou moins sujets aux vers, mais presque tous en sont attaqués, et les oiseaux le reconnaissent au son que rend l'écorce creuse. **Du reste, ces vers sont devenus aussi un objet de luxe et les gros vers du rouvre, nommés cossons, sont un mets délicat** ; **on va même jusqu'à les engraisser de farine et en faire l'élevage** […].

Plus loin dans son discours, Pline revient sur le sujet des cossons qui, une fois préparés avec de l'anis et de l'huile, peuvent guérir les ulcères. Mais ce texte demeure un peu mystérieux.

Pline l'Ancien, Livre XXX, Chap. 39, 115

Quin et uermium ipsorum genera mirandos usus habent : cosses qui in ligno nascuntur sanant ulcera omnia, nomas uero combusti cum pari pondere anesi ex oleo inliti […].

Bien plus, certaines espèces de vers ont-elles-mêmes des propriétés merveilleuses : **les artisons qui naissent dans le bois guérissent tous les ulcères** ; brûlés avec un poids égal d'anis et appliqués avec de l'huile, ils guérissent les ulcères rongeant […].

[117] DELOBEL, TRAN 1993, 272-273.

Pline fait état d'un procédé particulier pour récupérer la cannelle, en se servant de larves mangeant à la fois de la chair et du bois. Quel est cet insecte à la fois xylophage et nécrophage ? C'est grâce aux termes « rongent le bois » que ce passage a été choisi ici. Là encore le texte présente des zones d'ombre sujette à plusieurs interprétations : s'agit-il de deux types d'insectes différents (un xylophage et un autre nécrophage, intervenant à différents moments de la récupération de la canelle) ou d'une même espèce qui serait plutôt polyphage ? Cet insecte est, compte tenu des informations disponibles, indéterminable dans ce cas.

Pline l'Ancien, Livre XII, Chap. 43, 19

[…] Consecant surculos longitudine binum digitorum, mox praesuunt recentibus coriis quadripedum ob id interemptarum, ut putrescentibus uermiculi lignum erodant et excauent corticem, tutum amaritudine […].

[...] **On coupe les branches à longueur de deux doigts, puis on les coud dans des peaux fraîches** de quadrupèdes qu'on a tué pour cela, afin qu'au cours de la putréfaction **les larves rongent le bois** et dénudent l'écorce, que protège son amertume [...].

4. Se protéger des ravageurs durant l'Antiquité

- La poix, l'huile et la graisse

La poix est une matière collante réalisée à partir de résines et/ou de goudrons obtenus à partir de bois, tel que le bouleau mais aussi de divers résineux qui sont chauffés et transformés en charbon libérant ainsi divers sucs et résines de couleur sombre. La poix est utilisée à l'époque romaine notamment pour enduire l'intérieur des amphores et les coques de bateaux, mais son utilisation est également attestée par les textes de Théophraste et de Pline pour le bois : cultivé et donc sur pied mais aussi ouvragé. Pour le bois sur pied, la poix semble éloigner les ravageurs mais elle a également des effets induits très négatifs. Il convient de rappeler également ici le texte de Théophraste sur les vrillettes où il indique que le bois goudronné devient étanche mais enlève aussi les insectes. Ces traitements pour les bâteaux sont attestés archéologiquement[118].

Théophraste, *CP*, Livre V, Chap. 15, 6

[...] Τοῦ δ' ἐπικάειν καὶ διαδύεσθαι πόρρω κἀκεῖνο σημεῖον · οἱ γὰρ ἡμεροῦντες τοῦ θέρους ἐπὶ τὰ ὑπολείμματα τῶν ῥιζῶν ἔλαιον ἢ πίτταν ἐπιχέουσιν ἢ τῷ στέατι ἀλείφουσιν, ἅπερ ὅλως ξηραίνουσι, καὶ μάλιοθ' ἡ πίττα, διὰ τὸ ἰσχυροτάτη εἶναι.

[...] Et voilà ce qui prouve qu'elles (l'huile et la poix) brûlent par contact et s'infiltrent loin : quand on défriche, l'été, on verse s**ur les chicots des racines de l'huile ou de la poix**, ou bien on **les enduit de graisse**, matières **qui les déssèchent complètement**, surtout la poix, qui est la plus forte.

Pline l'Ancien, Livre XVII, Chap. 37, 234

Quae iniuria hominum constant, secundum [locum] habent causae. Pix, oleum, adeps inimica praecipue nouellis. Cortice in orbem detracto necantur excepto subere, quod sic etiam iuuatur; crassescens enim praestringit et strangulat […].

[118] ANDRÉ 1964, 86-97 (commentaire de traduction de pline, livre XVII).

Les lésions provoquées par les hommes constituent une seconde catégorie. **La poix, l'huile, la graisse nuisent particulièrement aux jeunes arbres**. On tue les arbres en enlevant un anneau d'écorce, exepté le liège qui s'en trouve même bien, car l'écorce, en s'épaississant, le serre et l'étouffe […].

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 4, 5

Οἱ δὲ θρῖπες ὅμοιοι τοῖς σκώληξιν, ὑφ' ὧν τετραίνεται κατὰ μικρὸν τὰ ξύλα. Καὶ ἔστι ταῦτα εὐΐατα · πιττοκοπηθέντα γὰρ ὅταν εἰς τὴν θάλατταν ἑλκυσθῇ στέγει · τὰ δὲ ὑπὸ τῶν τερηδόνων ἀνίατα.

Les vrillettes ressemblent aux vers ; c'est par elles que le bois est peu à peu troué. **Leurs dégâts se réparent facilement car le bois goudronné, une fois mis à la mer est étanche ; au contraire, ceux des tarets sont irréparables.**

- L'amurque : un insecticide et raticide efficace

L'amurque est une pâte collante, ayant macéré ou non, qui est formée à partir de marc d'olives pressurées (noyaux broyés et dépôts) créé lors de la confection d'huile. Auprès des agronomes latins (Caton, Palladius et Varron), l'amurque semble être régulièrement utilisée lors de problème d'infestation des greniers par des insectes ou des rongeurs. Il s'agit de textes très portés sur la conservation des aliments et des céréales, mais est-il possible que ces habitudes face à des nuisibles aient pu être transposées aux bois de construction ?

Caton[119] propose d'asperger d'amurque les murs du grenier afin d'éviter la propagation des ravageurs du blé, principalement les charançons. L'amurque servirait également à éloigner les souris. Plus loin dans son ouvrage[120], il propose *« que le bois de feu soit arrosé d'amurque »* pour le protéger, s'il est humide, pour qu'il ne fume pas et brûle ainsi mieux. Tout comme Palladius[121] et Caton, Varron[122] conseille d'utiliser un torchis mélangé à de l'armurque pour protéger les récoltes.

Varron, *De Rustica*, Livre I, Chap. 57, 1-2

Si minus, ex argilla mixta acere e frumento et amurca, quod murem et vermem non patitur esse grana facit solidiora ac firmiora. Quidam ipsum triticum conspargunt, cum addant in circiter mille modium quadrantal amurcae.

« [...] À défaut, **de glaise mélangée à de la balle de blé et à de l'amurque**, ce qui chasse les souris et les vers et donne aux grains plus de consistance et de fermeté. Certains aspergent le blé lui-même, en comptant un quadrantal d'amurque pour environ mille *modii* [...] »

- Autres mélanges

Varron, toujours dans le cadre de la protection des récoltes, mais qui pourrait être un indice pour la protection du bois d'oeuvre ou des planchers des greniers par exemple, parle de surélever les greniers et d'enduire les murs et le sol (peut-être en bois ?) de poudre de marbre. Plus en amont dans son discours[123] (*cf. supra*), il mentionne l'utilisation de craie et d'absinthe. Palladius illustre un exemple de traitement du bois sur pied et d'autres plantes cultivées avec une recette apparemment insecticide à asperger : de l'eau, des écrevisses et des crabes macérés au soleil plusieurs jours qui s'apparentent du point de vue de la fonction aux mélanges au savon noir ou avec de la cendre qu'on utilise aujourd'hui. De même, Pline

[119] Chap. CI, Par. 92, *cf. supra.*
[120] Chap. CXXXIX, Par. 130.
[121] Livre I, Chap. XIX, par. 2. *cf. supra.*
[122] *De Rustica*, Livre I, Chap. 57, Par. 1-2 *cf. supra.*
[123]Livre I, Chap. 57, Par. 1-2.

conseille un anti-fourmi à base de cendre, de miel, de souffre et de vinaigre[124] pour protéger les fruits.

Varron, De Rustica, Livre I, Chap. 57, 1-2

Et triticum condi oportet in granaria sublimia, quae perflentur vento ab exortu ac septemtrionum regione, ad quae nulla aura humida ex propinquis locis adspiret. Parietes et solum opere tectorio marmorato loricandi ;

Le blé aussi doit être rentré dans **les greniers élevés au-dessus de la terre**, ouverts aux vents de l'est et du nord, et tels qu'aucun air humide n'y arrive du voisinage. Les murs et le sol doivent être revêtus **d'un enduit de poudre de marbre**.

Palladius, *Traité d'Agriculture*, Livre I, Chap. 35, 7

Democritus adserit neque arboribus neque satis quibuslibet noceri posse a quibuscumque bestiis, si fluuiales cancros plurimos uel marinos, quos Graeci paguros nominant, non minus quam decem fictili uasculo in aqua missos tegas et sub diuo statuas, ut decem diebus sole uaporentur [...].

Démocrite affirme qu'aucune bête ne pourra nuire aux arbres ni à quelque plante que ce soit si, après avoir mis **dans un récipient de terre cuite, plein d'eau et couvert, un très grand nombre d'écrevisses ou une dizaine au moins de ces crabes** que les Grecs appellent *pagoures,* et après avoir placé ce récipient **en plein air de manière que le tout cuise au soleil pendant dix jours**, vous arrosez de cette eau tout ce que vous voudrez préserver, [...].

Une très courte mention recueillie chez Pline présente une situation un peu à part : l'utilisation du fumier qu'il faut badigeonner sur le bois (grume) pour aider au séchage et éviter la dégradation naturelle du bois. Par lutter contre la dégradation naturelle du bois, est-il aussi question de se protéger contre les attaques d'insectes ?

Pline l'Ancien, Livre XVI, Chap. 81, 222

Apud nos materiae finduntur aliquae sponte, ob id architecti eas fimo inlitas siccari iubent, ut adflatus non noceant. […]

Chez nous [en Italie], certains bois se fendent d'eux-même ; aussi les architectes les font-ils enduire de fumier pour le séchage, pour que l'air ne les abîme pas [...].

- Le feu et l'eau

Vitruve propose un « traitement » pour éviter que le bois ne pourrisse, il s'agit du passage au feu du bois (attesté archéologiquement). Il indique qu'une fois passé au feu, les bois sont « éternels » et qu'ils ne peuvent pas être dégradés par les champignons ou les insectes. Un peu plus loin, il fait aussi référence à la longévité d'un bois passé au feu placé dans l'eau ou dans la terre. Théophraste[125] indique que le sapin se conserve bien dans l'eau et qu'il est utile pour la confection des pontons. Dans un autre passage de *HP*, il propose de faire macérer les bois dans l'eau salée pour qu'ils se conservent mieux. En revanche, dans ce cas, il se tait sur le danger que constituent les tarets.

Vitruve, Livre I, Chap. 5, 3

Crassitudinem autem muri ita faciendam censeo uti armati homines supra obuiam uenientes, alius alium sine inpeditione praeterire possint, dum in crassitudine perpetuae taleae oleagineae ustilatae quam creberrime instruantur uti utraeque muri frontes inter se, quemadmodum fibulis, his taleis conligatae aeternam habeant

[124] Livre XVII, Chap. XLVII, par. 266 (*cf. supra*).
[125] *HP*, V, 4, 5.

firmitatem ; namque ei materiae nec caries nec tempestates nec uetustas potest nocere, sed ea et in terra obruta et in aqua conlocata permanet sine uitiis utilis sempiterno [...].

Quant à l'épaisseur du mur, je pense qu'il faut la faire telle que des hommes armés, venant l'un vers l'autre sur le rempart, puissent se croiser sans se gêner, tout en prévoyant de placer, dans l'épaisseur, **des branches d'olivier, d'une seule pièce, passées au feu,** aussi près que possible l'une de l'autre pour que les deux faces du mur liées entre elles par ces branches comme par des broches, **aient une solidité éternelle ; car ni la pourriture, ni le mauvais temps, ni la vétusté ne peuvent nuire à ce bois** : même enfoncé en terre, **même plongé dans l'eau, il ne s'altère pas et fait un usage infini** [...].

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 4, 3

[...] Τά δὲ ἄλλα διαμένει μάλλον, ὅπερ καὶ εὔλογον, ταριΧευόμενα τῇ ἅλμῃ.

[...] Au contraire, les autres bois se conservent mieux, comme il est normal, si **on les fait macérer dans l'eau salée**.

- Autres méthodes

Une autre méthode pour éviter la prolifération d'insectes nuisibles dans le bois est indiquée indirectement par Pline et Vitruve : selon eux, il faut choisir la bonne essence, celle qui présente le plus de résistance aux attaques fongiques et de xylophages. En effet, tout au long de leurs discours, ils comparent généralement plusieurs bois en évoquant une graduation de leur sensililité aux facteurs de dégradation : celui-ci est moins sujet à la pourriture, à la vermoulure que celui-là, *etc*. Autre exemple, Pline parle de l'odeur du pommier d'Assyrie, une essence à choisir pour ses feuilles dans la vie quotidienne, qui éloignerait les insectes s'attaquant aux vêtements (les mites ?). Il utilise le terme « *animalium noxia* », et non pas « *insecta* », qui est traduit par insecte nuisible dans ses autres écrits.

Pline l'Ancien, Livre XVI, Chap. 81, 223

[…] Pinus et cupressus aduersus cariem tiniasque firmissimae […].

[…] **Le pin et le cyprès resistent fort bien à la carie et aux vers** […].

Pline l'Ancien, Livre XII, Chap. 7, 15

Malus Assyria, quam alias Medicam uocant, uenenis medetur. Folium [eius] est unedonis intercurrentibus spinis. Pomum ipsum alias non manditur, odore praecellit foliorum quoque, qui transit in uestes una conditus arcetque animalium noxia.

Le pommier d'Assyrie, dit aussi pommier de Médie, est un **antitoxique**. Les feuilles sont celles de l'arbousier, elles sont entremêlées de piquants. Le fruit, du reste, ne se mange pas ; il vaut surtout par son parfum, e**t par celui des feuilles, qui passe dans les vêtements avec lesquels on l'enferme, et les défend contre les dégâts des insectes**.

Enfin, une dernière méthode, des plus discutables, est évoquée par Palladius qui propose de faire peur aux insectes ravageurs en brûlant et en exposant les cadavres d'individus similaires en signe d'avertissement... Ce genre de discours est probablement symptomatique de diverses croyances, inconnues malheureusement, qui pouvaient exister durant l'Antiquité.

Palladius, *Traité d'Agriculture*, Livre II, Chap. 15, 3

Si uermes patietur infestos, qui in ea rufi ac pilosi solent medullae interna sectari, aliquos ex his, sine arboris iniuria detractos, uicino crememus incendio : creduntur hoc genere uel fugere uel perire […].

S'ils sont attaqués par des vers malfaisants qui, roux et poilus, s'installent d'ordinaire au cœur de leur moelle, **on arrache de l'arbre, sans l'endommager, quelques uns de ces vers et on les brûle dans le voisinage :** il paraît que **par ce procédé on les chasse et on les fait périr** [...].

5. Les champignons lignivores

Un point des connaissances semble nécessaire aussi sur le sujet des champignons lignivores tels qu'ils appraissent dans la littérature savante antique, bien que ce thème soit beaucoup moins développé et plus flou chez les auteurs. Par exemple, aucune mention de coloration du bois (bleuissement*) due à un champignon n'a été relevée.

- Les termes utilisés et descriptions

La pourriture du bois, au sens assez vague (*cf. tableau infra*) est représentée par plusieurs termes : *aries, corrumpi* et *carie*pour Vitruve et*fungum* pour Pline.Les attaques du bois par des champignons lignivores sont attestées. Mais les termes utilisés « pourriture » et « champignon », ainsi que les contextes des différents discours révèlent que ces termes recouvrent diverses maladies et détériorations du bois : brûlure, gale, champignon de coloration (donnant juste un aspect au bois mais ne le dégradant pas mécaniquement), mousse, lichens, piqûres d'insecte[126] (Théophraste).

Vitruve, Livre I, Chap. 5, 3

*[...] Namque ei materiae **nec caries**, nec tempestates nec uetustas potest nocere, sed ea et in terra obruta et in aqua collocata permanet sine uitiis utilis sempiterno [...].*

[...] car **ni la pourriture**, ni le mauvais temps, ni la vétusté ne peuvent nuire à ce bois : même enfoncé en terre, même plongé dans l'eau, il ne s'altère pas et fait un usage infini [...].

Pline l'Ancien, Livre XVII, Chap. 37, 223

Olea praeter uermiculationem quam aeque ac ficus sentit clauum etiam patitur, siue fungum placet dici uel patellam. Haec est solis exustio. Nocere tradit Cato et muscum rubrum. Nocet plerumque uitibus atque oleis et nimia fertilitas. Scabies communis omnium est. Inpetigo et quae adgnasci solent cocleae peculiaria ficorum uitia, nec ubique […].

L'olivier, outre les vers auxquelles il est sujet comme le figuier, **est attaqué aussi par le clou, qu'on nomme aussi, si l'on veut, champignon ou patelle**. **C'est une brûlure causée par le soleil**. **Caton rapporte que la mousse rouge lui est aussi nuisible.** Une trop grande fécondité nuit généralement aussi à la vigne et à l'olivier. **La gale est commune à tous les arbres.** L'impétigo et les « coquilles » qui naissent contre l'arbre sont des maladies particulières au figuier, et encore pas partout […].

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 1, 1

[...]Ὡραῖα δὴ τέμνεσθαι τῶν ξύλων τὰ μὲν στρογγύλα καὶ ὅσα πρὸς φλοϊσμὸν ὅταν βλαστάνῃ · τότε γὰρ εὐπεριαίρετος ὁ φλοιός - ὅ δὴ καλοῦσι λοπᾶν - διὰ τὴν ὑγρότητα τὴν ὑπογινομένην αὐτῷ, μετὰ δὲ ταῦτα δυσπερικάθαρτος καὶ τὸ ξύλον μέλαν γίνεται καὶ δυσειδές. Τὰ δὲ τετράγωνα μετὰ τὸν λοπητὸν · ἀφαιρεῖται γὰρ ἡ πελέκησις τὴν δυσείδειαν. [...]

[126] Appelée aussi piqûre noire, CTBA 1996 ; *cf.* Volume III, page 141.

[...] Le moment de l'abattage pour les bois ronds et pour tous les bois à écorcer celui du bourgeonnement, car l'écorce s'enlève alors facilement (C'est l'état dit d'exfoliation) à cause de l'humidité sous-jacente, tandis que plus tard le décorticage est difficile, **le bois noircit et prend mauvais aspect.** [...]

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 1, 2

Ἐπεὶ δὲ μάλιστ' ἤ μόνον περιαιροῦσι τὸν φλοιὸν ἐλάτης πεύκης πίτυος, ταῦτα μὲν τέμνεται τοῦ ἦρος · τότε γὰρ ἡ βλάστησις. Τὰ δὲ ἄλλα ὁτὲ δὲ μετὰ τρυγητὸν καὶ Ἀρκτοῦρον [...] Δρῦς δὲ ὀψιαίτατα κατὰ χειμῶνα μετὰ τὸ μετὸπωρον · ἐάν δὲ ὑπὸ τὸν λοπητὸν τμηθῇ, σήπεται τάχιστα ὡς εἰπεῖν, ἐάν τε ἔμφλοιος ἐάν τε ἄφλοιος. Καὶ μάλιστα ὐὲν τὰ ἐν τῷ πρώτῳ λοπητῷ, δεύτερα δὲ τὰ ἐν τῷ δευτέρῳ, τρίτα δὲ καὶ ἥκιστα τὰ ἐν τῷ τρίτῳ.

Comme on écorce surtout, sinon uniquement, le sapin, le pin noir et le pin d'Alep, cesessences sont abattues au printemps, alors qu'elles bourgeonnent. Les autres le sont tantôt après la moisson, tantôt après la vendange et le lever de l'Arcture [...] C'est le chêne qui se coupe le plus tard, en hiver, au-delà de l'arrière-saison, et qui, abattu à l'époque de l'exfoliation, **pourrit** pour ainsi dire le plus vite, avec l'écorce ou écorcé. **S'altèrent surtout les bois coupés à la première exfoliation,** en second lieu ceux qui le sont à la seconde, en troisième lieu et au moindre degré ceux qui le sont à la troisième.

Théophraste, *HP*, Livre V, Chap. 7, 4-5

(4) [...] Τεκτουικῇ ὐὲν οὖν ἡ παλαιοτάτη κρατίστη, ἐὰν ᾖ ἀσαπὴς · εὐθετεῖ γὰρ ὡς εἰπεῖν πᾶσι χρῆσθαι.
(5) [...] Πίτυϊ δὲ χρῶνται μὲν εἰς ἄμφω καὶ οὐχ ἧττον εἰς ναυπηγίαν, οὐ μὴν ἀλλὰ ταχὺ διασήπεται.

(5) [...] Pour la charpente, le sapin le plus vieux est le meilleur, s'il est exempt de **piqûre**, car il peut servir pour ainsi dire à tout.
[...] On emploie bien le pin d'Alep dans les deux cas, en particulier pour la construction navale, mais il tombe vite en **pourriture**.

- Quelques essences ligneuses sensibles

Plusieurs mentions de pourriture sont faites par Vitruve pour certaines essences, souvent utilisées dans la construction : le sapin, le chêne et le hêtre.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 6

Sed ea, quod habet in se plus caloris, procreat et alit cariem ab eaque uitiatur, etiamque ideo celeriter accenditur quod quae inest in eo corpore aeris raritas ut est patens accipit ignem et ita uehementem ex se mittit flammam.

[...] La chaleur cependant qui domine en lui génère et entretient **une pourriture qui le détériore** ; il prend feu rapidement aussi pour la raison que sa faible teneur en air qui est en lui et sa dilatation laissent pénétrer le feu et font ainsi jaillir de lui une flamme violente.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 9

[...] Cerrus quercus, fagus, quod pariter habent mixtionem umoris et ignis et terreni, aeris plurimum, peruia raritate umores penitus recipiendo celeriter marcescunt.[...]

[...] **Le chêne cerre et le hêtre ayant un dosage équilibré d'eau, de feu et de terre, avec une grande quantité d'air, laissent l'eau pénétrer profondément à cause de la perméabilité de leurs pores, et pourrissent rapidement.** [...]

Pour éviter le pourrissement, les auteurs antiques parlent de quelques essences imputrescibles comme le cyprès, le thuya, le chêne, le buis, l'olivier, *etc*. Dont, aujourd'hui on sait qu'ils sont résistants mais pas imputrescibles. Pour les essences sensibles, Théophraste conseille un abattage du bois en fonction de la lune[127]. Vitruve, quant à lui conseille une

[127] *CP*, Livre V, 1-2, 3, *cf. supra.*

manière de débiter le bois qui permet un séchage et une évaporation plus rapide des sucs qui attirent les champignons lignivores (et les insectes).

Théophraste, *HP*, Livre 5, Chap. 4, 2-3

Ἀσαπῆ δέ Φὺσει κυπάριττος κέδρος ἔβενος λωτός πὺξος ἐλαία κότινος πεὺκη ἑυδαδος ἀρία δρῦς καρὺα εὐβοϊκή. [...] Τών δέ ἀλλων ἀσαπέστατον μετά τά κυπαριττινα καί τά θυώδη τήν συκάμινον εἰναί Φασι καί ἰσΧυρόν ἁμα καί εὐεργον τό ξὺλον [...]. Ἔτι δέ ἀλλο πρός ἀλλο καί ἐν ἀλλω ἀσαπές οἰον πτελέα μέν ἐν τω ἀέρι, δρῦς δέ κατοριττομένη καί ἐν τω ὐδατι καταβρεΧομένη.

Sont imputrescibles par nature le cyprès, le cade, l'ébène, le jujubier, le buis, l'olivier, l'oléastre, le pin résineux, le chêne vert, le chêne, le châtaignier. [...] Le moins sujet à la pourriture après le cyprès et le thuya, c'est dit-on, parmi les autres, le mûrier, dont le bois est à la fois solide et facile à travailler [...]. Ajoutons que **chacun de ces bois résiste à des formes de pourriture différentes** et dans des conditions différentes, par exemple l'orme exposé à l'air, le chêne enterré ou immergé.

Vitruve, Livre II, Chap. 9, 3

Caedi autem ita oportet uti incidatur arboris crassitudo ad mediam medullam, et relinquatur, uti per eam exsiccescat stillando sucus. Ita qui inest in his inutilis liquor effluens per torulum non patietur emori in eo saniem nec corrumpi materiae qualitatem. Tum autem, cum sicca et sine stillis erit arbor, deiciatur et ita erit optima in usu.

Il convient cependant que la coupe soit faite de telle manière que l'arbre soit entaillé dans son épaisseur jusqu'en plein cœur, puis laissé sur pied, afin que le suc, dégouttant de cette entaille, se tarisse. **L'écoulement, à travers l'aubier, du liquide inutile que contient l'arbre évitera que l'élément humide s'y décompose et que le bois pourrisse et perde sa qualité.** C'est précisément lorsqu'il est sec et sans trace d'humidité que l'arbre doit être abattu : il sera alors d'un excellent usage.

B. LES RAVAGEURS DU BOIS AUJOURD'HUI : CONNAISSANCES, TRAITEMENTS ET CONSERVATION DU PATRIMOINE

1. Les insectes xylophages

- Les xylophages : plusieurs ordres parmi la classe des insectes

Les xylophages sont des insectes dont les larves se développent dans les végétaux ligneux et concernent principalement quatre grands ordres : les coléoptères (capricornes, vrillettes, scolytes, charançons...), les isoptères (termites), les hyménoptères (sirex) et certains diptères comme le cossus gâte-bois par exemple. Parmi les 360 000 espèces de coléoptères rescencées dans le monde dont 11 670 en France, environ 550 espèces[128] sont xylophages voire sapro-xylophages*[129]. Les coléoptères représentent la plus importante proportion d'insectes xylophages et est l'ordre le plus abordé dans ce travail compte tenu de l'apparence des galeries et de la spécificité des vermoulures. Les autres ordres, tels que les hyménoptères (abeilles charpentières, fourmis), les isoptères (termites) et les xylophages aquatiques (taret

[128] SERMENT 1981 ; FAUNA EUROPAEA : site web de recherche des espèces vivantes : https://fauna-eu.org/ ; DIROL, DEGLISE 2001 ; LACLOS, BÜCHE 2008 ; BERGER 2012 (FAUNE DE FRANCE) ; PAULIAN 1988 ; PEARCE 2000 ; DAJOZ 2007 ; COCQUEMPOT, VALLADARES 2009 ; RIESCO MUÑOZ *ET AL.* 2014.

[129] MARTINEZ 2012 ; BERGER 2012 ; LACLOS, BÜCHE 2008 ; JULLIEN 2008 ; HICKIN 1971.

par exemple) sont, dans le cadre d'études sur le bois d'oeuvre beaucoup plus anecdotiques et difficiles à mettre en évidence[130].

Le cycle biologique des insectes à larves xylophage est simple. En effet, l'œuf, déposé dans une galerie ou dans une fente du bois a une durée de vie de quelques jours. Après l'éclosion de l'oeuf, la larve progresse dans le bois et s'en nourrit, ce qui cause des dégâts. Elle grandit par mues successives appelés « stades larvaires ». La durée de chaque stade larvaire dépend des conditions environnementales et de la qualité de la nourriture dans le bois : plus les conditions sont favorables (température et humidité optimales), plus le cycle sera rapide ; dans le cas contraire la larve peut être en dormance durant plusieurs mois. Le stade nymphal dure quelques semaines et est un stade de transformation en adulte où la larve ne se nourrit plus. Enfin, l'insecte parfait apparaît. Il ne se nourrit pas, ne vit que quelques semaines et sa fonction est essentiellement liée à la reproduction. Toutefois, dans certaines familles comme les scolytes, la femelle creuse une galerie dans le bois pour y pondre. De même, la plupart des charançons, une fois adultes continuent de vivre et de se nourrir de bois avant d'y pondre.

Comme indiqué en introduction, les insectes xylophages sont considérés comme des nuisibles. Ils peuvent causer de très gros dégâts dans les charpentes et autres bois ouvragés d'une habitation, ou s'ils attaquent le bois vivant, ils peuvent causer son dépérissement*. De nos jours, en cas d'infestation, il est impératif de faire appel à un professionnel qui déterminera l'insecte et en conséquence qui choisira la méthode la plus efficace pour traiter le bois et arrêter les dégradations (*cf. infra*). Les insectes xylophages sont à ne pas confondre avec des parasites* du bois qui se fixent plutôt sur le tronc ou les feuilles pour se nourrir de la sève de leur hôte*.

Outre les xylophages aquatiques[131], il existe deux grands types d'insectes xylophages terrestres dont les caractères discriminants pour leur identification, étudiés dans cette recherche, sont les galeries et les vermoulures[132]. Il s'agit des xylophages de bois secs, et ceux du bois frais. Les premiers concernent des larves se développant le plus souvent dans l'aubier et pouvant atteindre le duramen. Ce type comprend en grande majorité des familles appartenant à l'ordre des Coléoptères : les Cerambycidae (les capricornes tels que le capricorne des maisons et le genre *Hesperophanes*), les Ptinidae (les vrillettes : *Anobium punctatum*, *Ptilinus pectinicornis*, *Stegobium paniceum*, *Xestobium rufovillosum*), les Bostrychidae (les bosthryches), les *Lyctidae* (les lyctus), les Curculionidae (les charançons du bois). Enfin, il existe des xylophages de l'ordre des Isoptères : les termites (genre *kalotermes*)[133].

Le deuxième type d'insectes xylophages possèdent le même cycle évolutif que les précédents, mais ne sont inféodés qu'aux les bois frais[134]. Ici, il n'est question que des insectes évoluant dans le bois et non pas de ceux qui mangent les racines, les feuilles, *etc.*, et qui restent sur les parties « extérieures » de l'arbre. Ces familles sont plus diversifiées que celles des xylophages de bois secs et concernent un plus grand nombre d'espèces : les *Siricidae*

[130] Ce qui augment le nombre d'espèces possibles à plus de 600 ; Teredinidae - Volume III, page 153 ; PALMA, SANTHAKUMARAN 2014.
[131] *Teredo navalis* par exemple.
[132] *Cf.* Chapitre II, page 100.
[133] FISCHER 1937 ; GIUSTINA 1985 ; CTBA 1996 ; FRAVAL 2008; GAMBETTA 2010 ; MARTINEZ 2012.
[134] CHARARAS 1957 ; NAGELEISEN *ET AL.* 2010.

(sirex), les Cerambycidae (qui concerne la plupart des espèces de capricornes), les Scolytidae (scolytes ou piqûres noires), le *Xylocopa violacea* (abeille charpentière) et certaines espèces de fourmis qui appartiennent à l'ordre des hyménoptères[135].

Étant donné le nombre d'espèces existant actuellement en France, il a semblé nécessaire de faire une base de données regroupant le plus d'informations possibles sur chacune d'entre elles[136]. Cependant, certaines familles, genres ou même espèces ont une biologie encore mal connue n'ont pas pu être traités :

- une grande partie de la bibliographie correspond principalement à la systématique, c'est-à-dire à la description des différentes parties anatomiques des insectes adultes et des larves : élytres, *genitalia**, mandibules, antennes, soies...
- certaines espèces, bien que pouvant se trouver en grand nombre dans un lieu, une région ou une forêt demeurent toutefois rares pour l'ensemble du territoire actuel et leurs mœurs restent difficilement observables.
- cas rare mais possible : des confusions entre plusieurs espèces (et ainsi de leur biologie), dues à des problématiques issues de la systématique ont pu être faites tout au long de l'histoire de la discipline. En effet, les méthodes d'observation et d'identification des insectes ont beaucoup progressé ces 40 dernières années notamment Par l'utilisation de nouvelles technologies, telles que la biologie moléculaire et le sequencage de l'ADN des insectes par barcoding[137].
- l'adaptabilité, parfois très importante, d'une espèce à son environnement rend difficile une description exhaustive de toutes ses habitudes[138]. De plus, ces descriptions, notamment celles concernant le type d'essence ligneuse attaquée et l'alimentation générale de l'insecte, peuvent diverger selon les versions et auteurs.

Notons toutefois que plusieurs spécialistes des coléoptères, et plus particulièrement pour la famille des Cerambycidae, s'efforcent de rassembler, trier, confirmer ou infirmer toutes les données relatives connues, à la biologie de chaque espèce[139].

- Conditions d'une infestation

Tous les types de bois sont susceptibles d'être infestés. On note toutefois une résistance certaine de la part des bois tropicaux[140] que l'on utilise particulièrement de nos jours pour la conception de meuble et en tant qu'éléments de charpente par exemple. D'une manière générale, trois facteurs conditionnent l'infestation des bois : la température, l'humidité du bois et sa valeur nutritive[141]. Les insectes xylophages n'attaquent pas n'importe quel bois dans n'importe quelles conditions. En effet, certains préfèrent les bois tendres, d'autres seulement les conifères ou seulement les feuillus tandis que d'autres encore ne font aucune différence ni entre du bois sur pied et le bois mort ni entre telle ou telle essence. Mais d'une manière générale, trois conditions conduisent à la colonisation du bois par les insectes :

- La température

135 BARBEY 1923 ; DINDO *ET AL.* 1991 ; CTBA 1996 ; NAGELEISEN *ET AL.* 2010.
136 *Cf.* Chapitre II, page 128.
137 PAULIAN 1988 ; CTBA 1996 ; KINGSLEY *ET AL.* 2001 ; WINSOR *ET AL.* 2011 ; FOHRER *ET AL.* 2017 ; MEUSNIER *ET AL.* 2017.
138 DIROL, DÉGLISE 2001 ; BERGER 2012.
139 BERGER 2012.
140 FAUNA IBERICA 1992.
141 MORET 1998, 995-996 ; PONEL 2007, 22-23 ; COLLING 2002, 2-9.

Chaque espèce possède un cycle de développement qui lui est propre et qui dépend prioritairement de la température. Ce développement peut être ralenti (stades larvaires plus long) si la température ambiante est trop basse (environ 12°C) ou trop élevée (35°C). Au-delà de 60°C, les insectes et larves ne survivent pas dans le bois.

- L'humidité du bois

Selon les espèces, le milieu est favorable à la colonisation lorsque l'humidité se situe entre 7% et 18%. Certains comme les charançons vont plutôt privilégier les bois ayant une humidité supérieure à 20% (jusqu'à 100%). D'autres comme la grande vrillette (*Xestobium rufovillosum*)[142] peuvent attaquer un bois très sec à partir du moment où ce dernier a été au préalable, même des années avant, colonisé par un champignon lignivore.

- La valeur nutritive du bois

Les larves se nourrissent notamment de la cellulose contenue dans les parois cellulaires de l'arbre (l'amidon) et de diverses substances protéiques selon l'espèce et l'essence infestée.

- Conséquences pour la santé du bois

Chaque espèce ayant une biologie spécifique, les conséquences sur le bois seront variables, d'autant plus que ces altérations biologiques ne sont pas les seules à intervenir. En effet, il faut aussi compter sur l'intervention des champignons, de l'absence ou non de traitements du bois, de l'environnement de la structure (placée en plein air ou en intérieur par exemple), de la durée d'utilisation de la structure, *etc.* Dans tous les cas, leurs études fournissent des indices non négligeables pour comprendre l'état sanitaire du bois d'une construction.

D'une manière générale, une altération biologique quelle qu'elle soit, conduit à une diminution des qualités mécaniques et structurelles du bois, rendant l'ensemble de la structure beaucoup plus fragile à la charge qu'elle est sensé supporter, jusqu'à rupture des pièces les plus importantes. Pour en arriver à ce stade, deux espèces différentes ne mettront pas le même temps. Une invasion de capricornes sera beaucoup plus destructrice à court terme que des vrillettes. Il est à noter que plusieurs espèces peuvent se côtoyer au sein d'une même structure.

2. Détections, traitements et restauration des bois

Actuellement dans le domaine de la conservation du patrimoine, la connaissance des effets de ces pathologies est indispensable pour un projet de restauration et dans le domaine de la construction. Le but des opérations de diagnostic est de donner aux professionnels qui rédigent le projet de restauration des indications qui soient correctes du point de vue qualitatif (qui n'abîme pas plus l'oeuvre ou l'objet) et suffisantes (sur le moyen ou le long terme) du point de vue quantitatif[143]. Une intervention de restauration doit respecter le plus possible diverses contraintes : l'efficacité et la rapidité du diagnostic et du traitement, la

[142] *Cf.* Volume III, page 127.

[143] CALVI 1996 ; LAVISCI 2001; FOHRER 2011 ; colloque IPM 2016 ; Travaux d'Arc'Antique (G. LEMOINE), Arc Nucléart, CICRP.

conservation, le bon résultat du point de vue esthétique. Dans le cas particulier des structures en bois, lors de la préparation de l'intervention, il faut éliminer complètement chaque partie de bois dégradée par les champignons ou les insectes qui doit être réparée ou remplacée. Il est indispensable également de contrôler l'humidité du bois dans la zone à restaurer, le bois est considéré comme sec à partir de 7% d'humidité. Il est très important de choisir un bois de la même essence et de la même qualité que celui des zones à restaurer.

Pour détecter les insectes au sein d'un objet en bois ou d'une charpente par exemple, il existe plusieurs outils dont l'un des plus prometteur et de plus en plus utilisé est l'ATAX[144] (Acoustique des traces d'activités des xylophages) qui agit à la manière d'un sismographe grâce à des capteurs sur l'extérieur de l'objet qui vont détecter les fibres du bois qui se cassent en temps réel due à la prise de nourriture de la larve. La méthode la plus traditionnelle est qu'un entomologiste se rende sur le terrain afin d'observer à l'œil nu ou à la loupe l'œuvre et ses alentours proches en réalisant un diagnostic fin. Les insectes peuvent également être capturés grâce à un système de piègeages (phéromone*, lumineux à fond englué, ...) afin de pouvoir être identifiés. Il existe également un fort développement de nouvelles méthodologies pour détecter la présence d'insecte xylophage via la mesure de la consommation d'oxygène et l'émission de composés organiques volatils (COV) par les insectes[145].

Lorsqu'un objet de musée est infesté plusieurs solutions sont possibles pour le préserver et éradiquer l'infestation. Le risque de dégradation du patrimoine par des organismes vivants est très récurrent. Pour y pallier, notamment à partir des années 1950, de nombreux produits chimiques ont été utilisés en grande quantité et/ou de façon anarchique (produits à base de mercure, d'arsenic, bromure de méthyle, solides chlorés, amoniaque...), avant de comprendre que ces méthodes étaient nocives pour l'homme autant que pour les oeuvres. Depuis les années 1980-1990, la prise de conscience et le changement des mentalités vis-à-vis de ces produits ont donné naissance à de nouveaux concepts et pratiques de traitements curatifs. Ces méthodes doivent être choisies en fonction de la nature de l'objet (peinture sur bois, statuette, meuble, livre...) pour être le plus efficace et la plus bénéfique pour l'oeuvre[146] :

- Les produits insecticides et fongicides : il s'agit de la méthode la plus couramment utilisée pour son efficacité sur le moyen terme. De nos jours, la forme la plus récente et la plus efficace est le gel. Les produits insecticides (xylophène, xilix, axil...), généralement incolores, sont des associations de composés chimiques qui une fois badigeonnés, injectés ou pulvérisés sur le bois, tuent les larves présentes et préviennent les risques de récidives. Il existe en parallèle des bio-insecticides, tel que le sel de bore (inodore et soluble), mais qui ne sont pas ou très peu utilisés dans le domaine de la conservation du patrimoine considérés comme moins efficaces.
- La fumigation : généralement à base de fluorure de sulfuryle et d'ion fluor, la fumigation par ce gaz, incolore et inodore, est réalisée dans un espace clos contenant les récoltes et les transformations (meuneries) agricoles, un ensemble d'œuvre et d'objets (réserve de musée)

144 LE CONTE *ET AL*. 2014.
145 STUŠEK *ET AL*. 2000 ; PCR EN COURS POUR LE COV PAR LE CSTB.
146 KURTZ, HARRIS 1962 ; HICKIN 1967 ; FLORIAN 1997 ; MERCUZOT 1997 ; YELA 1997 ; KINGSLEY *ET AL*. 2001 ; GUNN 2011, BASLÉ 2011 ; GAMBETTA 2010.

ou un lieu patrimonial (église). Différents gazs sont utilisés en fonction du matériau à traiter[147]. La fumigation est l'opération consistant à introduire, pendant une courte durée, un gaz dans un lieu confiné en vue d'y détruire des organismes nuisibles. Ce traitement insecticide vise à éradiquer les insectes présents dans les œuvres et dans leur environnement. Il est souvent employé lorsque l'ensemble des collections d'un lieu patrimonial se trouve attaqué et qu'aucune autre méthode de traitement n'est alors possible. Étant toxique et à effet de serre, son application est très contrôlée, dosée et confinée en fonction du cas (périmètre de sécurité de 25 m, aération des lieux après l'application...). Son action consiste à priver l'insecte de son energie cellulaire en perturbant la glycolyse et le cycle des acides gras, or certaines espèces (rencontrées dans les silos de stockage et lors de la transformation des céréales) sont ou deviennent résistantes. De plus, une nouvelle infestation est possible juste après le traitement car ce produit ne possede aucune rémanence[148]. Ce procédé est à ne pas confondre avec les fumigènes insecticides qui correspondent à une diffusion d'une fumée toxique et non d'un gaz.

- L'anoxie : basée sur le même principe que la fumigation avec un environnement clos, la méthode consiste à retirer par étape, l'oxygène d'un milieu, d'une structure en le remplaçant par de l'azote, de l'hélium, de l'argon, du dioxyde de carbone ou en utilisant des sachets absorbeurs d'oxygène[149].
- Par le froid et la congélation : une méthode encore peu usitée en France (sauf dans l'agroalimentaire) en raison du manque de connaissance des conséquences sur certains types d'objets, mais qui est pourtant moins coûteuse et non toxique. Elle repose sur le principe de la diminution lente et progressive de la température entre 0 à – 40°C selon le cas[150].
- Par la chaleur : méthode largement répandue au Canada et au Royaume Unis mais encore peu utilisée en France, la désinsectisation par la chaleur est basée sur le même principe que pour le froid mais avec des températures inversées afin de bloquer le développement des insectes via la connaissance de leurs besoins thermobiologiques[151]. Le problème de son utilisation est également lié au manque de connaissances des conséquences sur les œuvres et objets[152].
- Les rayons gamma : l'irradiation par des rayonnements ionisants est de plus en plus utilisée dans le domaine de la conservation patrimoniale[153] et agroalimentaire, la stérilisation médicale et pharmaceutique. Leur efficacité va jusqu'à désinfester un objet emballé[154].
- Par les micro ondes : particulièrement utilisée pour les grands ensembles de bois de type plancher, cette méthode canalise les micro ondes pour les projeter à l'aide d'un guide d'onde sur le bois. Ce traitement fait monter la température suffisamment lentement dans le bois pour éliminer les champignons comme la mérule par exemple et les insectes xylophages.

Il existe un traitement particulier pour les bois archéologiques qui sont restaurés, notamment par le laboratoire Arc'Antique basé à Nantes. Le traitement de conservation-

147 Par exemple : le gaz phosphine dégrade les métaux et n'est donc pas utilisé dans le domaine de la conservation patrimoniale.
148 BULLETIN TECHNIQUE 2002.
149 PACAUD 1998, GUNN 2011.
150 PACAUD 1996, SUZUMOTO 1992 ; STRANG 1997.
151 GUNN 2011.
152 Travaux en cours : entreprise THERMO LIGNUM.
153 Effectuée par exemple sur la momie de Ramsès II en 1977 à Saclay, informations Art Nucléart.
154 ART NUCLÉART.

restauration des bois gorgés d'eau comprend des phases de nettoyage à l'état humide (retirer les résidus de pollutions ou de sédiment), une imprégnation aux polyéthylèneglycols (peg)[155] suivie de la congélation (pour consolider) puis une lyophilisation (procédé de sublimation pour retirer l'eau restante de l'objet sans le dégrader), un nettoyage après séchage (pour retirer le reste de peg), une consolidation si besoin avec collage des fragments, des comblements de soutien et un conditionnement final (dans des matériaux neutres de type polypropylène prédécoupé sur mesure en fonction de l'objet).

3. Les outils d'aujourd'hui pour comprendre les infestations d'hier

Dans les différents domaines actuels de conservation patrimoniale ainsi que pour la restauration des charpentes anciennes et, plus généralement, le domaine de l'ingéniérie du bâti et dans le domaine judiciaire (lors d'un litige à cause d'une infestation, après ou avant un achat immobilier), divers tests de reconnaissance, au moins des grandes familles de xylophages sont réalisés depuis un peu plus d'une dizaine d'années[156]. Parfois, il est nécessaire d'évaluer et de quantifier les dommages d'un insecte sur une structure avant de le traiter, notamment en observant le nombre de trous d'envol et en essayant de les identifier sans avoir l'insecte adulte[157]. Ces tests de reconnaissance de vermoulure demeurent généralistes et cantonés au stade des grandes familles d'insectes.

Les insectes xylophages infestaient les bois ouvragés à l'époque romaine, or sur ces bois carbonisés ou gorgés d'eau, aujourd'hui, il ne reste que les traces de leur passage larvaire dans le bois : les galeries ainsi que leurs déjections, les vermoulures. L'analyse en laboratoire par des spécialistes du bois, anthracologues ou xylologues, rend possible le répérage de ces traces. Ces dernières sont régulièrement observées et juste notées présentes, et on procède à l'énumération de « trous » ; mais elles ne sont pas identifiées. Seules quelques rares études, concernant des bois archéologiques, semblent avoir été publiées[158]. Toutefois, la plupart du temps, ces articles traitent d'un problème de conservation du patrimoine ligneux archéologique tel que l'exemple du bâteau The Mary Rose, découvert dans les années 1960 et qui a été infesté à partir des années 1990 par *Nacerdes melanura*, lors de son stockage dans un entrepôt humide (PITMAN).

La paléomycologie est une discipline nouvelle qui est encore peu explorée et connue par les sciences de l'archéologie. La microbiologie est toutefois utilisée dans le milieu de la conservation du patrimoine pour comprendre comment une oeuvre s'est faites colonisée par une moisissure, l'identifier et trouver le meilleur moyen pour la retirer sans dégrader l'objet[159]. En archéologie, quelques articles anthracologiques se sont essayés à l'étude des

[155] Résine acqueuse ne laissant pas de trace visible accompagné d'un séchage doux et efficace. La concentration et la durée d'imprégnation du PEG dépend de la densité du bois (plusieurs semaines généralement).
[156] CTBA 1996 ; PINNIGER 2001 ; GAMBETTA 2010 ; BOBADILLA *ET AL.* 2015.
[157] HEDGES 2012 ; MUNOZ *ET AL.* 2013.
[158] BLANCHETTE 1991 ; PITMAN *ET AL.* 1993.
[159] BOTTON *ET ALI.* 1990 ; SAMSON *ET AL.* 2002 : ces deux ouvrages sur les champignons actuels pourraient potentiellement servir d'outils de référence pour la reconnaissance des hyphes et des spores de champignon en archéologie ? Piste à explorer ultérieurement.

hyphes* de champignons présents dans les charbons de bois[160]. Les problématiques visées sont de la même nature que celles posées pour les insectes : l'attaque fongique est-elle en lien ou non avec celle des insectes (et/ou galeries), avant ou après la combustion ? De quels types de champignons s'agit-il ? Quelles informations peuvent-ils apporter ?

[160] PY 2009, VOL. 2, 1030-1113 ; MOSKAL-DEL HOYO *ET AL*. 2010, 2106-2110.

CONCLUSION

Ce point sur l'Histoire des savoirs des auteurs antiques aide à mieux appréhender ce que les différentes populations qui ont construit et fabriqué des objets dans les études de cas présentées ci-après (chapitres III à V) ont pu faire comme choix et pourquoi ils l'ont fait : choix d'une essence, possible traitement, type de débitage, provenance... Toutefois il convient de prendre conscience que le savoir sur les insectes, particulièrement sur les xylophages est lacunaire. Leurs observations sont intéressantes mais ne sont pas toujours vraies au prisme des connaissances actuelles : confusions, traditions plus cultuelles... Il existe très probablement diverses traditions liées aux insectes dont les traces archéologiques et littéraires ont disparu : sceaux avec des galeries, amulettes pour les enfants.

De plus, les auteurs antiques ne font que mentionner à quelques reprises leurs problématiques et leurs liens avec le bois d'œuvre, pourquoi ? Est-ce parce que les parties en bois dans les constructions sont pour eux banales, logiques ou tout simplement quelque chose de commun qui ne mérite pas d'être consigné par écrit ? Est-ce plutôt parce qu'ils n'ont pas observés ces insectes (pas remarqués) ? Ou est-ce parce que leurs problèmes majeurs concernent les récoltes ? Par ailleurs, Théophraste dans *HP* et *CP*, indique que les arbres sauvages ont selon lui, des maladies naturelles, mais que les arbres domestiques sont plus facilement touchés et que c'est « contre-nature ». Plus tard, les agronomes, parlent uniquement des arbres cultivés car c'est là que réside leurs problèmes de risque de famine et d'économie de manière plus générale. La forêt et ses maladies ainsi que l'état sanitaire de leurs bois d'œuvre (visibilité des galeries, infestations diverses) ne semblent pas être leurs préoccupations premières. Toutefois, les quelques indices récoltés après la relecture de ces textes révèlent que les auteurs savaient que leurs bois étaient susceptibles de pourrir ou de s'effondrer. Outre les plus gros insectes comme le lucane ou les grands capricornes, ils ont également repéré quelques particularités comme les galeries symétriques de scolytes.

Aujourd'hui, il existe toujours une méconnaissance tangible des mœurs et de la bio-écologie des xylophages. Il faut prendre en considération certaines ré-observations (années 1940-50) elles-même basées sur d'anciennes observations (années 1870), ainsi que certaines confusions ou encore « imprécisions » dans les descriptions anatomiques des individus ou de leur bioécologie[161]. Petit à petit, les outils et les recherches actuels tendent à rétablir ces états de la connaissance, ainsi l'idée est apparue pour ce travail d'utiliser ces outils et ces concepts sur les insectes afin de les appliquer sur les bois archéologiques. Pour cela, il est essentiel d'établir une méthodologie d'observation et de créer un référentiel.

[161] PORTEVIN 1929, 1931, 1934 ET 1935 ; NUSSLIN 1905, non vu ; NAGELEISEN, BOUGET 2009 ; un exemple de confusion et de dénomination se situe volume III, page 27 et concerne le bostriche.

- CHAPITRE II -

ÉTUDIER ET ÉVALUER L'ÉTAT SANITAIRE DU BOIS ARCHÉOLOGIQUE : MÉTHODOLOGIE

INTRODUCTION

Le bilan dressé précédemment concerne les divers champs d'études connus en bioarchéologie (paléoenvironnement, anthracologie, archéoentomologie...) pour le bois d'œuvre de l'époque romaine, ainsi que ceux relatifs aux domaines de la conservation patrimoniale (détection des insectes, restauration, peg, traitements curatifs...) pour les bois d'œuvre, les objets et autres œuvres d'art. Pour chacune de ces disciplines, différents protocoles de prélèvements et d'analyses sont couramment utilisés indépendamment les uns des autres. Leur association et leur adaptation pour ce travail a conduit à l'élaboration d'une méthodologie spécifique qu'il convient de présenter en suivant la chaîne opératoire du travail conduit ici depuis l'échantillonnage sur le terrain jusqu'à l'observation microscopique et son enregistrement/traitement en laboratoire.

Dans un premier temps, l'intérêt porte sur les prélèvements de terrain sélectionnés pour les différentes études de cas archéologiques. Le premier objectif est de présenter un protocole de prélèvement adapté aux structures (bois ouvragé, fours, sols...), au contexte du site (chronologie, état des vestiges) et au type de fouille (préventive ou programmée) afin de répondre aux diverses problématiques propres à chaque situation de terrain[162].

Dans un deuxième temps, le déroulement des analyses en laboratoire est détaillé car il constitue l'un des cœurs de la recherche. Deux aspects sont présentés : l'anatomie du bois proprement dite et les conventions utilisées pour la dénomination des taxons ligneux, partie désormais classique des études anthracologiques ou xylologiques ; et en second lieu, la méthodologie d'observation et d'identification des traces d'insectes xylophages à partir des galeries et des vermoulures, qui constitue une voie originale d'approche analytique du bois dans ce travail.

Ces deux aspects soulèvent divers questionnements d'ordre pratique : comment observe-t-on les charbons de bois et/ou le bois gorgé d'eau ? Comment récolter les informations nécessaires à l'identification de l'insecte à partir des traces laissées par les xylophages ? Quels autres indices peut-on enregistrer, et quelles indications sur l'état sanitaire du bois fournissent-ils ?

Enfin, la troisième partie traite du processus de réflexion et d'élaboration de la clé d'identification des insectes xylophages, réalisée à partir d'observations et de divers tests (mesures, carbonisation...) effectués sur des individus actuels et sur leurs traces spécifiques laissées dans le bois. Ce référentiel regroupe les ravageurs les plus régulièrement rencontrés au sein des bois ouvragés actuels. Ces analyses ont contribué à la création d'une clé d'identification inédite munie d'un atlas, considérée comme un outil de travail qui fait l'objet d'un volume à part[163].

Les méthodes liées à l'anthracologie et la dendrochronologie sont connues, utilisées et acceptées depuis plus de quarante ans dans le milieu de l'archéologie[164]. C'est pour cette

[162] *Cf.* Chapitre III : pour chaque site archéologique présenté il y a un paragraphe développant les problématiques spécifiques pour les structures étudiées.
[163] Volume III.
[164] VERNET 1972&1992 ; HEINZ 1990 ; BADAL-GARCIA 1992 ; CHABAL 1997 ; COURT-PICON 2003 ; ASTRADE, MIRAMONT 2010 ; MARGUERIE *ET ALI* 2010 ; POIRIER 2011.

raison que les descriptions de ses pratiques d'investigations, tant sur le terrain qu'au sein du laboratoire, semblent être moins explicités en détail, contrairement à la partie méthodologique suivante concernant les traces d'insectes. Cette dernière semble, à notre connaissance, ne jamais avoir été évoquée. Seuls les procédés liés à la systématique, c'est-à-dire l'identification des insectes adultes à partir de leur anatomie (élytres, antennes, *genitalia**...), sont déjà bien connus et bénéficient de divers ouvrages spécialisés[165]. Mais ce n'est pas le cas des traces qu'ils laissent dans et sur le bois.

Au sein de chacune de ces parties, plusieurs paragraphes traitent des problèmes méthodologiques rencontrés lors du doctorat, que ce soit lors de la phase de terrain ou pendant la phase d'analyse en laboratoire. Ces discussions tentent de soulever les difficultés pouvant être rencontrées dans d'autres disciplines et de débattre sur d'éventuelles améliorations à apporter dans le futur.

[165] BERGER 2012 et les FAUNE DE FRANCE en général, le KAEFER, les ouvrages de LEPESME...

I. L'ENREGISTREMENT DES DONNÉES : PROTOCOLES DE PRÉLÈVEMENTS SUR LE TERRAIN

A. PRÉLEVER LE BOIS OUVRAGÉ

Les protocoles de prélèvements sur le terrain sont des outils essentiels pour une analyse fiable et apporter plus de précision en cas d'infestation de xylophages. Il ne peut y avoir d'étude bioarchéologique et paléoenvironnementale sans un prélèvement et un enregistrement rigoureux. Le terrain est une phase importante du travail car, lors de la présentation des résultats, la façon dont ils sont réalisés aide à fournir des données supplémentaires ou non. Diverses méthodologies ont été mises en place pour la pratique des analyses anthracologiques, xylologiques et entomologiques. Ces protocoles ont, pour ce travail, bénéficié de modifications afin d'améliorer la précision et de conduire aussi l'analyse entomologique appliquée au bois archéologique.

1. Les bois gorgés d'eau

En zone humide et anaérobique, tels que les puits ou les secteurs proches de réseaux hydrographiques, le bois peut être préservé dans de bonnes conditions[166], excepté en milieu acide. Se gorgeant d'eau, il est susceptible de conserver sa forme originelle, d'éventuelles traces d'outils et de maladie, telles que les galeries d'insectes. De plus, l'écorce, l'aubier et le duramen sont aisément discernables par rapport au bois carbonisé, ce qui fait de l'eau un milieu de conservation efficace. En revanche, selon le contexte, la quantité de bois préservée peut être importante et pose alors des problèmes logistiques (poids des structures, place nécessaire au stockage).

Lors de la mise en évidence d'un bois ou d'une structure, il est essentiel de le photographier sur le terrain *in situ*. Pour les pièces ayant de grandes dimensions (sablières, poteaux), des photographies, ou des photogrammétries quand cela est possible, sont effectuées sur chacune des faces. Les éléments mis au jour sont alors répertoriés et topographiés un à un. Un numéro de prélèvement individuel est attribué[167] à chaque pièce de bois.

Pour le dégagement d'un bois de petite taille, la pièce est prélevée d'un seul tenant et placée soit dans un bac rempli d'eau de façon à ce que le bois ne soit pas en contact avec l'air (FIGURE a), soit dans un sachet zip (sans trou d'aération) dans lequel est versée de l'eau claire tout en évacuant tout l'air contenu dans le sac[168] (FIGURE 9 b). Dans le cas d'élément en bois de taille importante, des sections sont débitées à la tronçonneuse puis cellophanées, gardées humides et étiquetées[169] (FIGURE 9 c et d). Ces sections servent généralement aux analyses dendrochronologiques. Or l'étude des traces d'insectes doit être réalisée sur l'intégralité de la

[166] Sauf si milieu acide.
[167] Sous la forme par exemple : US xxxx.1 pour le premier bois, US xxxx.2 pour le deuxième et ainsi de suite.
[168] Principe de mise sous vide.
[169] Conseils Y. LE DIGOL, DENDROTECH.

pièce de bois. Il est alors essentiel, dans le cas de grands formats, d'observer les éventuelles traces de xylophages avant l'échantillonnage dendrochronologique (*cf. infra*).

FIGURE 9 - Méthodes de stockage du bois gorgé d'eau. **a.** Dans un bac rempli d'eau claire. **b.** Dans un sachet zip sous vide. **c.** Retournement à la main d'une grande pièce (sablière) pour photographie et avant échantillonnage dendrochronologique, tirée de GUITTON *ET AL.* 2015. **d.** Échantillon sous cellophane.

En vue d'un conditionnement *ante* analyse, il est très important de retirer, ou au moins de limiter, la quantité d'air présent autour des échantillons gorgés d'eau afin d'éviter la prolifération de champignons (traces ou filaments blancs sur le bois) et de bactéries qui vont décomposer le bois, jusqu'alors préservé par la sédimentation (FIGURE 10).

FIGURE 10 - Exemple de champignons sur un bois gorgé d'eau (traces blanchâtres), cl. Équipe de Rezé.

Le cas est similaire lorsqu'il s'agit de dégagements et de prélèvements de bois qui s'étalent sur plusieurs campagnes de fouille : une partie de la pièce est dégagée mais ne peut pas être prélevée lors de la session en cours, mettant alors le bois en danger, car il n'est plus protégé par les sédiments.

Ce n'est qu'au moment de la nouvelle campagne que l'on peut se rendre compte des dégâts occasionnés : extrémités rognées, champignons, nouvelles infestations d'arthropodes aquatiques trouvant refuge dans le bois ainsi que dans d'autres types d'objets archéologiques (céramiques, os...). Par exemple, dans le cas de Rezé (44), une prolifération de petites crevettes cavernicoles aveugles[170] a été constatée. Ces dernières se sont logées dans les interstices des blocs de grès composant le quai romain ainsi que dans le bois en formant des petites cavités peu profondes peut-être pour se protéger de leurs prédateurs (FIGURE 11).

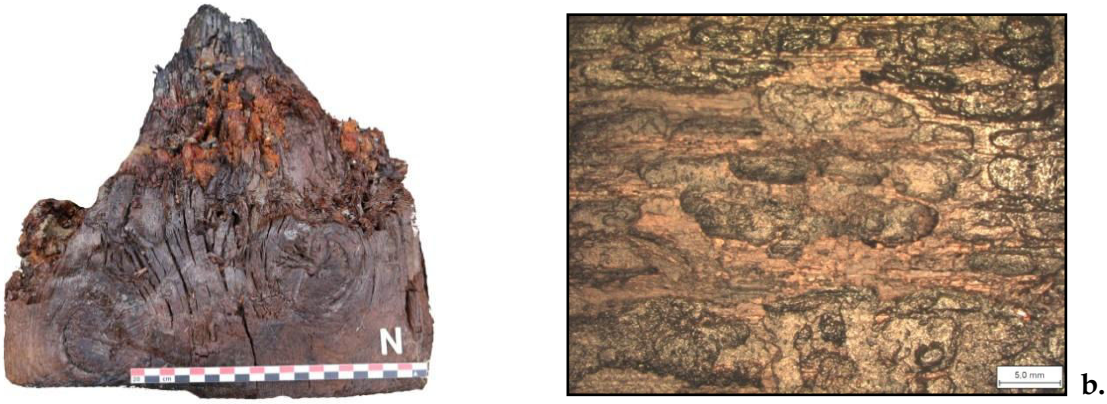


FIGURE 11 - Dégâts causé au bois gorgé d'eau archéologique entre deux campagnes de fouille. **a.** Extrémité supérieure rognée, séchée et craquelée. **b.** Traces d'infestation actuelle sur la partie du bois non protégée. Site de Rezé (44).

Sous vide, les traces d'insectes xylophages et les traces d'outils de travail du bois sont ainsi mieux préservées sur le moyen terme. Le stockage des prélèvements, en attendant l'analyse xylologique, est optimale lorsque ces derniers sont rangés dans une pièce sombre, fraîche et sèche. Une conservation sur le long terme, qui peut tout à fait être réalisée dans un second temps, s'apparente à un séchage lent du bois avec une résine (lyophilisation)[171].

2. Les bois et les structures carbonisés

Les prélèvements de charbons de bois à fonction architecturale peuvent bénéficier d'une interprétation de l'utilisation du bois et ne pose guère de problèmes théoriques[172]. Néanmoins, une interrogation sur la meilleure manière de prélever les vestiges carbonisés a vu le jour afin de perdre le moins d'informations possible vis-à-vis des techniques de construction utilisées et des éventuelles infestations d'insectes et de champignons. En parallèle, l'objectif était d'améliorer le développement des analyses de charbons de bois et ainsi d'effectuer des études habituellement peu, voire jamais conduites pour obtenir de nouvelles données sur le bois. De plus, les premières interprétations archéologiques effectuées sur le terrain de ces structures sont essentielles. En effet, après l'identification botanique, il est alors possible, en confrontant les données, d'interpréter les aspects techniques, les motivations liées à l'utilisation du bois, l'environnement ou encore la distance de collecte. Il convient aussi de se pencher sur les dimensions des pièces de bois, leur

[170] De type *Niphargus*.
[171] *Cf.* Arc'Antique, chapitre III, page 184 ; chapitre I, pages 73.
[172] CHABAL 1997.

disposition spatiale, la mesure de la courbure des rayons sur les plus gros charbons, en vue d'une évaluation du diamètre minimal d'origine des tiges et des qualités technologiques du bois[173].

Les structures de type paroi ou plancher ainsi que les autres bois à fonction architecturale (poutre isolée) ont bénéficié d'une fiche de terrain spécialisée, enregistrant leur position, décrivant leur forme, leurs mesures, leur orientation, le sens du fil du bois d'une pièce par rapport à une autre, le positionnement d'éventuels clous et le nombre d'éléments en bois composant l'ensemble de l'US ou de la structure. Comme il s'agit de pièces de charbons concentrées dans la couche, elles ont été soit prélevées d'un seul tenant, en prenant soin de bien différencier chaque élément distinctif de la structure (notés par exemple : CH 1 - CH 2 - CH 3, ...), soit découpées en sections (section 1, section 2, ...). Après avoir photographié et topographié l'ensemble de la structure ainsi que les pièces de bois individualisées, chaque élément est détouré à la petite truelle, délimité par du film transparent ou du papier absorbant[174], puis précautionneusement prélevé à l'aide d'une pelle à main ou d'une plaque rigide[175]. Le prélèvement est ensuite placé dans une boîte ou un sachet zippé et étiqueté. L'orientation originelle de la pièce est également inscrite.

Dans le cas de bois carbonisé, la mise sous vide n'est pas nécessaire. En revanche, limiter l'exposition à l'humidité du charbon lors de son prélèvement et de son stockage évite la prolifération de micro-organismes animaux et mycètes. Même si ce type d'infestation ne semble pas faire de dégâts conséquents aux charbons de bois, à part recouvrir celui-ci de filaments, ces micro-organismes peuvent toutefois surprendre par leur vivacité sous la lumière du microscope. Ces infestations actuelles sont donc à ne pas confondre avec des infestations dites « taphonomiques » (*cf. infra*).

B. PRÉLEVER D'AUTRES TYPE DE STRUCTURES

Lors des fouilles archéologiques effectuées, diverses structures en bois non ouvragés ont été rencontrées tels que des fours, des foyers ou encore des bûchers funéraires. D'une part, il était évident qu'il fallait prélever tous les types de structures rencontrés, leur découverte étant dans le cadre de contrats, avant le début véritable de ce travail doctoral. D'autre part, certains sites et contextes ont donné lieu à la réalisation d'une approche paléoenvironnementale afin de mieux appréhender la localisation et l'approvisionnement des bois ouvragés.

Ces autres types de bois ont conduit à la réalisation d'essais analytiques sur d'éventuelles traces d'insectes xylophages pour comprendre s'il s'agissait de la même faune que celle des bois ouvragés ou non et ainsi d'enrichir les interprétations.

Deux cas se présentent. Le premier est lorsque les charbons (ou les bois gorgés d'eau) sont concentrés au sein d'une unité stratigraphique, tel qu'un objet, un foyer, un four ou une

[173] CHABAL 1988 & 1997 ; DUFRAISSE 2006 ; MARGUERIE, HUNOT 2007 ; THÉRY-PARISOT, HENRY 2011 ; PARADIS-GRENOUILLET 2012.
[174] Limitant ainsi la persistance de l'humidité.
[175] Plastifiée ou cartonnée par exemple.

crémation. Il est recommandé de réaliser un prélèvement total de la structure soit en un seul tenant[176], soit en établissant un carroyage afin de spatialiser les différents taxons qui seront identifiés. Selon la taille du carroyage, il faudra choisir si la totalité doit (ou peut) être étudiée ou seulement une partie. Par exemple, pour un carroyage ayant une emprise d'environ 10 m², correspondant à 40 carrés de 50 sur 50 cm, la totalité des carrés prélevés est analysée. Au-delà de ces dimensions, il convient de s'adapter en fonction du temps, du budget et des problématiques de recherche. Les carrés sont alors choisis de manière aléatoire pour ne pas risquer d'orienter les interprétations[177]. Si l'épaisseur de la couche charbonneuse est importante (supérieure à 5 cm), le prélèvement se poursuit également en épaisseur en créant artificiellement des passes de 5 à 10 cm d'épaisseur (inférieure, supérieure ou avec une numérotation). Cette méthode d'échantillonnage, particulièrement efficace et utilisée pour le prélèvement des fours, a été préconisée par B. DAVASSE[178] dans sa thèse (1998) sur le charbonnage dans les Pyrénées puis notamment par Ch. VASCHALDE[179], dont la spécialité est l'étude des fours à chaux[180]. S'il s'agit d'un objet carbonisé, le prélèvement se réalise comme pour une structure ouvragée : entouré d'un film ou d'un papier, ramassé avec une pelle et rangé dans une boîte. À l'inverse, si l'objet est composé de bois gorgé d'eau, il ne faut pas omettre de le protéger de l'oxygène en le plaçant dans un sachet ou dans un bac rempli d'eau claire.

Le deuxième cas concerne les charbons de bois dispersés au sein d'une unité stratigraphique. Généralement effectué pour la compréhension d'un niveau d'occupation, même si les charbons ne sont pas systématiquement visibles, l'établissement d'un carroyage sur tout le niveau de la couche est nécessaire. Chaque carré doit faire au moins 50 par 50 cm, à adapter selon la configuration du site et de l'US. Étant donné que la dispersion des charbons n'est pas homogène sur toute la surface de la couche, le prélèvement des carrés doit se faire de façon aléatoire par tirage au sort. Enfin, lorsqu'il s'agit d'une petite surface jusqu'à 6-10 m² par exemple, tous les carrés doivent être prélevés. Enfin, des prélèvements dits paléoenvironnementaux peuvent être effectués au sein des coupes stratigraphiques ou des sondages. Lors d'un sondage, des prélèvements pédoanthracologiques, mais aussi malacologiques, carpologiques..., sont opérés dans chacune des unités stratigraphiques présentes dans la tranchée. Généralement, il est prélevé au minimum 10 l de sédiment par couche qui sera ensuite tamisé. Le but de ces prélèvements est d'obtenir une vision chronologique de la végétation, éventuellement de son évolution, pour un secteur voire même pour une région donnée. Pour une analyse en lien avec un site archéologique, une correspondance chronologique est faite entre l'une des couches du sondage et l'un des

[176] Seulement dans les cas où il s'agit d'un objet ou si la structure se trouve dans un contexte de remblais et/ou est de petites dimensions (environ 20-30 cm²).
[177] CHABAL 1988 & 1997.
[178] Professeur et directeur du site ENSAP, l'UMR 5319 : ENSAP Bordeaux. Thèse 1998 : *La forêt du charbonnier et les forêts des paysans dans l'espace des Pyrénées de l'est (Moyen âge à nos jours) : étude d'écologie historique : aspects biogéographique, écohistorique et anthracologique : contribution à une histoire de l'environnement,* Sous la direction de Jacques HUBSCHMAN.
[179] Docteur en Archéologie, Université Aix-Marseille LA3M UMR 7298 ; Post-doc Université Paul Valéry - Montpellier ASM (Archéologie des Sociétés Méditerranéennes), UMR 5140, Université Montpellier 3.
[180] DURAND *ET AL.* 2010 ; VASCHALDE 2011 & 2013.

niveaux d'occupation du site associé à l'aide de diverses datations : mobilier céramique ou C^{14} par exemple[181].

C. PROBLÈMES LIÉS AU PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS SUR LE TERRAIN

Un certain nombre de difficultés ont été rencontrées lors des phases de terrain. Il convient de les répertorier. Ces soucis ou erreurs induisent pour la suite de l'analyse d'autres erreurs ou des difficultés d'interprétations qu'il faudra alors prendre en compte. Une réflexion est proposée ici, car certains de ces faits pourraient être évités.

L'objectif n'est pas de porter des jugements sur la qualité des différents travaux de terrain, mais plutôt de comprendre différents points de vue à partir de diverses expériences personnelles et racontées afin de mieux appréhender les difficultés que l'on peut rencontrer lors du déroulement des opérations archéologiques.

1. Logistique et orientations de la recherche

Les premières difficultés résident dans l'organisation générale d'un chantier archéologique.

En premier lieu, le temps possible consacré à la fouille peut être un frein à un prélèvement minutieux. C'est le cas notamment en opération préventive et lors des fouilles d'urgence où les délais imposés conditionnent fortement le choix et la qualité des types de prélèvements à effectuer. Ainsi, par exemple, lors de la fouille de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)[182], le plancher 3775 a été mis au jour la dernière semaine de chantier, alors qu'il s'agissait d'une fouille à l'origine d'une durée de six mois. La compréhension de la structure *in situ* et son prélèvement a alors été rapide, mais totalement effectuée en respectant dans la mesure du possible la méthodologie décrite précédemment. Ce n'est qu'au moment de l'analyse que le prélèvement d'un objet carbonisé au milieu des bois ouvrés a été constaté, ainsi que la présence de pollutions[183] d'une pièce à l'autre.

Par ailleurs, l'emprise spatiale d'une fouille ou d'un sondage peut, sans le vouloir, tronquer une structure, cette dernière ayant alors une partie filant sous la berme. Les prélèvements, et par conséquent les résultats, s'effectuent seulement sur une partie de l'ensemble.

Le budget est un problème récurrent, mais qu'il est difficile de pallier. Des parts peuvent être allouées à certaines analyses, conditionnant alors la taille de l'équipe sur le terrain et de celle œuvrant en post-fouille. Dans le cadre de l'archéologie préventive ou programmée, le nombre d'archéologues et de spécialistes sur le terrain est limité, car ils coûtent souvent plus chers à l'employeur. Les prélèvements sont alors la plupart du temps surveillés d'un œil lors d'une visite, mais sont généralement effectués par les autres archéologues de terrain ou les étudiants en formation. Or, tout le monde ne peut pas connaître toutes les méthodologies de

[181] GUIOT *ET AL.* 1999 non publié ; TALON 2007 & 2010.
[182] *Cf.* Chapitre III, pages 135 à 146 et Chapitre IV, pages 313 à 375.
[183] Présence de fragments de bois carbonisé appartenant à une pièce proche de celle prélevée (essence différente, liaison par un clou...).

prélèvements pour chaque discipline et c'est à ce moment crucial que des petites erreurs d'enregistrements ou d'observations interviennent (*cf. infra*).

Ce budget est en partie déterminé par les problématiques du chantier. Si celles-ci ne concernent pas le bois (ou le charbon de bois), il n'y a, *a priori*, pas besoin de spécialiste. Or, un foyer, un plancher ou une structure plus ou moins complexe carbonisée ou non peut être découverte. Sans un spécialiste à portée de main ou la connaissance de ses indications, les prélèvements sont le plus souvent récoltés soit totalement d'un seul bloc soit très partiellement avec un échantillon pour l'ensemble d'une structure. La perte des informations est alors irréversible : elles concernent la spatialisation des pièces de bois ou même la compréhension de l'ensemble de la compréhension de la structure. Il faut garder à l'esprit que la vision est tronquée. Ce fut le cas par exemple, pour la fouille des Jacobins (Rennes, 35)[184] où lors de la fouille, seul un échantillon (une pièce de bois) a été prélevé pour analyser l'ensemble d'un plancher de plusieurs m². L'importance des problématiques et des méthodologies de travail de terrain se pose également pour les fouilles programmées et plus particulièrement pour les chantiers-école[185], tel que le site de Rezé Saint-Lupien (44), à la différence que d'une année sur l'autre, les problématiques du chantier évoluent plus aisément et peuvent inclure de nouvelles spécialités en fonction des découvertes.

Enfin, il convient de noter l'importance du facteur humain, notamment sur le plan des connaissances et des données que peuvent apporter une étude anthracologique et/ou entomologique. Au fil du temps, plusieurs archéologues et responsables d'opération ont été rencontrés au cours de cette recherche. Certains d'entre eux ne connaissaient que très vaguement les disciplines comme l'anthracologie et encore plus l'entomologie, car ils n'y avaient été que très peu confrontés au cours de leur carrière. Dans certains cas, il a fallut de bonnes argumentations et des projections de résultats potentiels obtenus grâce à ces disciplines avant de pouvoir établir un protocole adapté au site archéologique.

2. Observations et enregistrements

Souvent, consécutivement aux décisions logistiques, d'autres difficultés interviennent lors de l'observation d'une structure et de son enregistrement. On note un déficit important de données lorsque la spatialisation des éléments au sein d'une structure plus grande n'est pas effectuée. Au préalable, l'individualisation[186] des pièces de bois est essentielle, mais complexe à réaliser : une charpente carbonisée et effondrée voit alors ses éléments en bois s'entremêler, les fils du bois sont assez difficiles à suivre si l'on n'est pas aguerri à l'exercice. Un plancher, par exemple, est composé de plusieurs pièces de bois lui donnant corps en surface mais est également constitué en épaisseur (ou hauteur) de lambourdes, de solives puis de planches pour circuler. Ensuite, enregistrer la spatialisation des différentes pièces permet pour l'approche anthracologique et xylologique de localiser précisément l'utilisation d'une essence par rapport à une autre et pour l'approche entomologique, si plusieurs espèces

[184] *Cf.* Chapitre III, pages 175 à 179 et Chapitre IV, pages 204 à 225.
[185] Avec de nombreux étudiants en formation, apprenant une multitude de méthodes en peu de temps, ou n'ayant encore que peu exercés sur le terrain.
[186] Chaque pièce est notée individuellement (CH 1, CH 2...).

de ravageurs sont constatées, elles peuvent également être situées et ainsi aider à la localisation de la source de l'infestation.

Au cours des différentes phases de terrain, plusieurs problèmes d'enregistrements ont été recensés, tels que : l'absence de numérotation des échantillons (individualisation), empêchant alors la localisation de la structure ; ou, à l'inverse, une numérotation globale pour tous les prélèvements d'une US ou du site[187], ce qui est moins gênant mais peut conduire, au début de l'analyse, à rechercher vainement un échantillon « perdu » correspondant à la suite de la numérotation.

En parallèle, les descriptions de la structure, et de surcroît des pièces individuelles, peuvent être lacunaires ou pas assez précises selon les objectifs de l'étude. De même, il y a parfois trop peu de photographies des structures. Ayant été présent sur le terrain ou non, le spécialiste a besoin de (ré)observer le contexte archéologique. L'enregistrement topographique (de l'ensemble et des pièces individualisées) est également important, mais pas toujours effectué pour les structures carbonisées (manque de temps, problématique de fouille, *cf. supra*). Il s'agit pourtant d'une méthode pratique pour établir un plan général d'une structure carbonisée ou non. Ces difficultés sont souvent rencontrées lors d'études de fouilles anciennes[188], mais malheureusement pas uniquement...

3. Prélèvements et conditionnements

La manière de prélever un échantillon, une pièce ou une structure, a généré plusieurs problèmes. Le manque de temps, de personnel et/ou de connaissance de la discipline, ont conduit à ne pas prélever certaines structures (carbonisées)[189]. D'autre part, dans certains cas, ce sont des prélèvements partiels (ou échantillonnés) d'une structure qui ont été effectués. Ainsi, pour le site des Jacobins, plusieurs tests d'analyses comme la répartition de l'infestation, des proportions fiables de présence/absence d'une espèce xylophage, le caractère homogène ou non de la structure, les essences utilisées, la présence d'éventuels réemplois/réparations, ne peuvent pas être conduits. Une autre difficulté surgit lorsque des prélèvements complets d'un ensemble sont réalisés, mais sans individualisation des pièces, ce qui interdit alors la spatialisation des éléments ligneux et une bonne compréhension de la structure. Par exemple, le chêne et le sapin composent une paroi et le sapin est infesté par une vrillette, mais il est impossible d'aller plus loin dans l'interprétation. Enfin, pour des structures de type four et foyer, il a été remarqué que le carroyage n'était pas systématiquement appliqué. Là aussi, la spatialisation des différents taxons est alors impossible à délimiter et à exploiter.

Pour la phase de terrain, des erreurs sur le conditionnement des échantillons prélevés avant l'analyse soulèvent deux points méthodologiques gênant l'analyse par la suite : un oubli ou mauvais étiquetage, et la prolifération de bactéries et de champignons (bois gorgés d'eau et charbons de bois) conduisant à la dégradation continue et régulière de l'échantillon.

[187] C'est-à-dire une numérotation continue quelque soit le type de prélèvement : par exemple US 3595.1 = céramique en place ; 3595.2 = objet en bois ; 3595.3 = os ; 3595.4 = os ; 3595.5 = élément en bois ; 3595.6 = élément en bois, *etc*.

[188] *Cf.* site d'Alésia, Chapitre V, pages 394.

[189] Par conséquent, ces sites archéologiques, au nombre de huit, non pas été intégrés dans la thèse.

Les problèmes liés aux prélèvements sur le terrain sont variés, ce qui ne sera pas sans conséquence sur les résultats présentés dans les chapitres IV et V. Les difficultés vont de l'approche la plus concrète et la plus précise à la plus large en prenant en compte les objectifs généraux de la fouille ou de l'archéologie à l'heure actuelle. Il faut toutefois noter que le facteur humain est très important : les problématiques, la connaissance des disciplines et de leurs méthodes, le nombre de personnes disponibles sur le terrain, les erreurs d'enregistrement... Pour y pallier, on ne peut que proposer de diffuser le savoir, via des conférences, des communications à des colloques, de diffuser des fiches de prélèvement, de proposer des formations et des initiations aux prélèvements des différents types de « macrorestes », de discuter et de débattre au sein d'une équipe afin d'adapter les méthodes, souvent considérées comme chronophages, selon le site archéologique et le contexte de mise au jour d'une structure carbonisée ou gorgée d'eau.

II. MÉTHODOLOGIES D'OBSERVATION AU LABORATOIRE

A. OBSERVER ET IDENTIFIER LE CHARBON DE BOIS ET LE BOIS GORGÉ D'EAU

1. Préparation de l'échantillon

- Les charbons de bois

Les charbons de bois peuvent bénéficier d'un tamisage à sec ou à l'eau (via une colonne de tamis de différentes tailles ou par flottation) et d'un séchage avant d'être triés à l'aide d'une pince, fine et légère, comme celles utilisées en philatélie par exemple et conditionnés dans des récipients rigides ou des sachets transparents zippés et numérotés. Cependant, il faut éviter de tamiser un élément carbonisé de grande taille, telle qu'une bûche ou une planche par exemple, car le prélèvement sera délité en une multitude de fragments, ce qui ne fera qu'accentuer les erreurs statistiques en surévaluant ainsi le nombre de fragments de charbons et de galeries d'insectes. Les bois carbonisés prélevés étant essentiellement des bois de gros calibres (poutre de 2 m de long, planche de 15 sur 20 cm...), ils ont été étudiés directement à partir de leur poche de prélèvement (FIGURE 12). Les autres types de charbons (four, foyer...) ont été tamisés (tamis de 4 et de 2 mm[190]) puis triés.

FIGURE 12 - Exemple d'un prélèvement carbonisé conditionné avant l'analyse sur un support rigide et cellophané.

L'observation est effectuée sur un seul fragment à la fois, qui sera numéroté. On opère sur le fragment plusieurs cassures nettes à la main ou au scalpel[191] afin d'obtenir les différents plans anatomiques nécessaires à l'identification de l'essence (coupe transversale, coupe longitudinale tangentielle et radiale). Pour des charbons de petites tailles[192] (inférieur à 1 mm), le risque d'endommager un plan essentiel est plus important que pour de gros fragments. Il convient alors de pratiquer les observations, plan par plan, avant d'effectuer de nouvelles cassures. Pour l'observation sous un microscope à réflexion (lumière venant du dessus), l'échantillon est alors placé dans un petit récipient rempli d'un élément de calage tel que du sel ou du sable. On utilise des grossissements de 50 à 1000 pour examiner les diverses cellules du bois. Le fragment, ainsi que tous ses rejets de cassures, sont conservés dans la même enveloppe (ou mini-zip), numérotée et inventoriée. Les essences observées lors de ce travail font l'objet d'une présentation en annexe 1[193].

Certaines anomalies du bois liées, soit à la croissance et à la gestion de l'arbre (moelle décentrée, traces d'élagage, compression), soit à la carbonisation en elle-même sont

[190] Un tamis de 1 mm, voir selon le contexte, de 250 µm a également été utilisé afin de conserver les refus de tamis en vue d'autres type d'analyse : carpologie, entomologie des sols...
[191] Sous loupe binoculaire ou non.
[192] Autres techniques proches de la pédoanthracologie.
[193] *Cf.* Volume II, Annexe1, pages 4-60 : fiches n° 1 à 29 ; tableau 2 ; planches n°1 à 10.

susceptibles d'être mises évidence lors de l'observation microscopique. Lorsque des phénomènes de compression, de vitrification et de calcification sont repérés, un degré de quantification est attribué à chaque échantillon carbonisé.

Le bois de compression est une déformation du bois, visible au microscope, et concerne généralement les arbres (conifères) poussant sur un terrain en pente ou sur les branches progressant plus ou moins en parallèle avec le sol. Le bois se déforme ainsi pour supporter et contrer la gravité. Les stades du bois de compression, proposés ici et résultant des observations anthracologiques du Chapitre IV, sont les suivants :
- « l'absence » lorsqu'il n'y a pas de bois de compression.
- « faible » lorsqu'on remarque quelques éléments de compression épars au sein de la coupe.
- « modérée » quand le bois de compression est répandu régulièrement le long des trachéides transversales.
- « élevée » correspond à une compression serrée, plus épaisse et nombreuse.
- le terme « très élevée » est employé lorsque les traces du bois de compression sont si importantes que l'anatomie du bois en est déformée, gênant souvent la lecture des caractères anatomiques. On repère aussi ce stade par l'aspect « denté » des parois des trachéides. Le phénomène de vitrification[194] a été particulièrement étudié par Ch. VASCHALDE dans le cadre de sa thèse[195]. Il a construit un outil, utilisé dans ce travail, qui permet de mieux l'enregistrer, de le quantifier et donc sans doute à terme de mieux le comprendre. À l'heure actuelle personne ne sait exactement expliquer les causes de ce phénomène. Il a proposé une échelle de stade de vitrification qui a été utilisée dans ce travail. Le stade 0 indique l'absence de ce phénomène, le stade 1 montre un peu de vitrification au niveau des cellules, le stade 2 correspond à la présence de vitrification sur les parois cellulaire des vaisseaux notamment, tandis que le stade 3 et 4 indique une fusion des cellules, (plus abondante pour le 4) enfin, le stade 5 indique que la vitrification rend la fusion quasi-exclusive à exclusive rendant parfois impossible d'observer des caractères anatomiques. Il convient de noter qu'avant ces travaux, cette problématique a été étudiée notamment par J.-Ch. OILLIC[196] dans sa thèse (2011). Il a lui aussi tenté de mettre au point un outil de quantification de la vitrification sur les sites métallurgiques bretons.

La calcification est un phénomène dont on ignore encore la cause, toutefois, sa présence a été notée au cours de l'observation. Comme pour le bois de compression, un essai d'échelle, semblant bien s'appliquer aux échantillons étudiés, est proposé ici. Il s'est inspiré de l'échelle de vitrification ainsi que de l'observation des cristaux de sel de calcium et de l'aspect du bois, d'abord en coupe longitudinale radiale puis, l'application a pu s'observer sur la coupe transversale. Lorsqu'il n'y a pas de calcification, on considère être au stade 0, le stade 1, par contre, indique un début de calcification observé sur les parois du fragment. Le stade 2 indique une calcification touchant en plus les parois cellulaires des rayons (toujours en coupe longitudinale radiale). Au stade 3, les vaisseaux ou les trachéides sont calcifiés. Enfin, au stade 4, la calcification englobe toute les cellules, gênant ainsi à l'identification des caractères anatomiques.

---

194 MCPARLAND *ET AL.* 2010
195 VASCHALDE 2011.
196 Auto-entrepreneur ISATECH ; thèse 2011 : *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire,* sous la direction de Dominique MARGUERIE.

- Les bois gorgés d'eau

Préalablement stockés soit dans un bac rempli d'eau claire, soit mis sous vide dans un sac transparent, les bois gorgés d'eau sont examinés un à un. L'échantillon doit être sorti de son milieu de conditionnement et placé sur du papier absorbant. Il est nécessaire d'avoir un récipient contenant de l'eau propre à portée de main en cas de séchage trop rapide de l'échantillon. Auquel cas, il est préférable de le ré-humidifier. Dans le cas de grandes pièces de bois non stockables, la plupart des observations, hormis l'identification de l'essence ligneuse, ont été effectuées sur le terrain, ce qui n'est en revanche pas le cas pour les pièces récoltées entièrement (objet, pieux*, piquets*...). Pour les premières, un ou plusieurs[197] échantillons de la pièce de bois, sous la forme de rondelle de bois, sont prélevés à la tronçonneuse en vue d'une analyse dendrochronologique[198]. Pour les pièces entières (ou les grandes mais observées sur le terrain), il convient de mesurer toutes les dimensions du prélèvement (longueur, largeur, épaisseur, rayon), d'indiquer la présence ou l'absence de nœud, de départ de branche ou encore de cicatrice, d'estimer le nombre minimal de cernes, de déterminer le type de débitage (bille, demi-bille, quartier, faux-rayon...) et de relever les traces visibles sur le bois (outils, galeries d'insectes...).

Avant l'identification de l'essence de l'échantillon dendrochronologique ou de la pièce entière prélevée, il est nécessaire de repérer le sens du fil du bois et ainsi de déterminer la localisation des différentes coupes anatomiques à réaliser (comme pour les bois carbonisés). À l'aide d'une lame de rasoir, on incise délicatement et le plus finement possible le plan souhaité du bois. Généralement, les premières coupes effectuées sont trop polluées par des restes de terre ou des fissures de l'objet, ou trop épaisses pour que les cellules du bois soient visibles au microscope. Les incises se succèdent alors jusqu'à obtenir une surface propre et suffisamment grande où on prélèvera une fine coupe du bois qui sera déposée sur une lame mince. Selon la taille et la qualité des coupes, il est possible de placer sur la lame les différents plans anatomiques nécessaires à l'identification afin de faciliter l'observation en pouvant passer d'un plan à l'autre rapidement sans changer de lame mince. Quelques gouttes d'eau peuvent être ajoutées sur le bois avant d'y placer la lamelle supérieure. L'échantillon est alors placé sous un microscope à transmission (lumière venant du dessous) et permet l'observation avec les mêmes grossissements que pour les charbons de bois. Si on souhaite conserver la lame mince, il convient au préalable de nettoyer à l'eau distillée puis de sécher les coupes de bois en les imbibant par étape à l'alcool (taux d'alcool dilué : 90 %, puis 75% puis 50% et ainsi de suite). La lame supérieure est ensuite fixée soit par du vernis transparent, soit par une résine de type baume du Canada. L'intérêt de ce dernier est qu'il est plus pérenne. Cependant, il a tendance à faire jaunir le verre de la lame[199].

- Mesures dendrochronologiques

Au sein des bois carbonisés étudiés, les dimensions de certaines pièces du site de l'îlot Camelin, étaient suffisamment importantes pour évaluer leur potentiel dendrochronologique. Pour les bois gorgés d'eau étudiés, la dendrochronologie a été effectuée en parallèle par des spécialistes tels que l'équipe DENDROTECH pour le site de

[197] Selon la longueur de la pièce afin d'optimiser les mesures dendrochronologiques et les datations, en prenant par exemple plusieurs échantillons comprenant de l'aubier, voire l'écorce.
[198] Études de l'entreprise DENDROTECH par exemple.
[199] GÄRTNER, SCHWEINGRÜBER 2013 ; GÄRTNER *ET AL.* 2014.

Rezé[200]. La datation d'une structure requiert entre 10 et 15 échantillons, présentant de l'aubier complet et/ou du cambium, par phase de construction afin d'assurer une datation d'abattage fiable et de proposer un phasage d'occupation/construction, voire parfois, une saison d'abattage[201].

Le corpus de planches et de bûches carbonisées issu de l'îlot Camelin présente quelques gros charbons, faisant plus de 5-6 cm de long, de large ou d'épaisseur et présentant une séquence d'au moins 20 cernes. Ces quelques échantillons ont été mesurés avec l'aide de deux spécialistes : Jean-Louis ÉDOUARD et sa doctorante à ce moment, Lisa SHINDO[202].
L'observation et le comptage des cernes sur les charbons de bois s'effectuent sous la loupe binoculaire équipée d'un banc dendrochronologique[203] et reliée à un logiciel de type T.S.A.P.-Win[204]. Pour rendre les cernes bien visibles, le plan transversal du charbon est nettoyé à sec (l'eau risquant de faire craqueler le charbon) à l'aide d'une petite brosse (type brosse à dent) et d'une lame de rasoir pour ôter les éléments de terre et pour aplanir le plus possible le plan. Les autres plans anatomiques ne sont pas observés car ils présentent une source d'erreurs trop importante en raison de la forte courbure exercée par les cernes, pouvant en cacher plusieurs autres. Après les prises de mesures sur plusieurs échantillons, il faut comparer chacune des courbes dites « courbes de croissance », les unes par rapport aux autres afin d'observer si elles ont un lien entre elles, de quelques cernes ou plus, ou aucun. Pour les climats européens, la synchronisation et la datation des séries de largeurs de cernes, s'effectuent à partir de certains repères ou « accidents » de croissance (années difficiles pour les arbres). Une courbe flottante est ainsi créée qui peut éventuellement être recalée à partir des courbes de référence afin d'attribuer une datation[205]. Des calculs mathématiques et statistiques réalisés à l'aide de logiciels spécifiques aident à la sélection des périodes similaires entre le référentiel dendrochronologique et les échantillons mesurés. Le recalage avec le référentiel n'a pas pu être fait pour les échantillons de Camelin, mais les courbes flottantes donnent une idée de l'âge minimum des arbres utilisés dans l'architecture[206].

2. Identification des essences et conventions de dénomination

La structure anatomique du bois est souvent caractéristique d'une espèce ligneuse. La détermination se fait généralement au niveau du genre. Le terme taxon sert à désigner indifféremment une espèce, un genre, une famille ou un groupe. Il est parfois difficile d'atteindre le niveau spécifique car l'anatomie de certaines espèces, comme les chênes à feuillage caduc *Salix/Populus* ; Cistacée/Myrtacée[207], est trop similaire pour pouvoir être

[200] *Cf.* Chapitre IV, page 266.
[201] Cela dépend de l'essence ligneuse également.
[202] J.-L. EDOUARD, anciennement dendrochronologue, CCJ, CNRS, MMSH, UMR 7299, Aix en Provence ; Lisa SHINDO, chercheuse associée au CCJ, docteure en dendrochronologie.
[203] Mesurant en millième de millimètre le déplacement d'un cerne à l'autre, soit la largeur du cerne ; GARCIA-MARTINEZ, DUFRAISSE 2012.
[204] Time Serie Analysis Program, Rinntech software.
[205] MARGUERIE *ET ALI* 2010 ; MARGUERIE, HUNOT 2007.
[206] *Cf.* Chapitre IV, page 323.
[207] Comprenant toutes les espèces de chênes blancs, comme le chêne rouge, chêne chevelu, chêne pubescent, chêne tauzin et chêne rouvre, trop complexes à déterminer, d'autant plus qu'ils peuvent s'hybrider.

discriminée. Quelquefois aussi, l'identification s'arrête au rang de la famille pour des raisons identiques, par exemple la grande famille des Fagacées (chênes, châtaignier….), ou même au niveau le moins précis, celui de la classe quand l'état des échantillons rend certains éléments anatomiques illisibles.

La carbonisation, ainsi que le milieu humide, ont la particularité de conserver de manière presque intacte l'anatomie du bois, malgré certaines déformations anatomiques comme les fentes de retrait pour les charbons ou la perte des épaississements spiralés sur le bois gorgé d'eau par exemple.

L'anthracologie s'appuie sur l'observation microscopique de caractères anatomiques discriminants pour identifier les différents éléments anatomiques du bois tels qu'ils sont répertoriés et décrits dans les atlas xylologiques[208]. Il est également possible de confronter les caractéristiques constatées avec une collection de référence de bois récents carbonisés ou sous lame mince. Ce n'est qu'à force de répéter les analyses que l'œil du spécialiste se forme et s'enrichit, reconnaissant alors plus aisément la variabilité biologique anatomique d'une même espèce. En effet, le bois étant un organisme vivant, il présente autant de visages que de contextes possibles. En ce qui concerne les insectes et leurs traces, ces variations biologiques, entres espèces et au sein d'une même espèce sont encore plus perceptibles et gênent l'identification : la taille de l'adulte, sa couleur en lien avec le bois qui l'a nourrit, *etc.*, sont autant de paramètres qui engendrent une variabilité anatomique accrue.

Les structures anatomiques discriminantes du bois (vaisseaux, fibres, ponctuations) sont observées à différentes échelles afin d'omettre le moins de détails possible. D'autres caractères, plus en lien avec l'écologie propre de l'essence, (nombre et taille des cernes, taille des vaisseaux, galeries d'insecte, présence de thylles, déformations...) sont également examinés et enregistrés. Il est nécessaire de multiplier les vues différentes d'une même coupe afin d'être le plus exhaustif possible.

Pour une étude statistiquement fiable il faut compter, de façon variable selon les contextes, de 100 à plus de 500 fragments dans le cas de charbons dispersés, en établissant une courbe d'effort-rendement. Lorsque celle-ci est stable, l'analyse peut être arrêtée. Dans le cas de charbons issus de structures spécialisées (bois d'œuvre, planche...) une centaine de charbons analysés rend le résultat statistique satisfaisant. Pour un carroyage, chacun des carrés bénéficie d'une analyse comprise entre 80 et 100 fragments minimum lorsque ceux-ci sont monospécifiques. Si plusieurs taxons sont en jeu, l'analyse des fragments est poursuivie jusqu'à obtenir une courbe d'effort-rendement stable. Dans le cas de bois gorgé d'eau, si la pièce a bien été nettoyée, la question du nombre ne se pose alors pas : il suffit de quelques plans pour connaître l'essence. Pour les bois d'œuvre, monospécifiques la plupart du temps, le nombre de fragments analysés peut paraître petit en raison du type de prélèvement (pièce de bois délimitée, *cf. supra*) et de la grande taille des charbons, ce qui évite ainsi une surfragmentation du bois accidentelle. Cette situation a semblé garantir le comptage des galeries d'insectes observées afin de ne pas en surévaluer le nombre.

[208] Atlas : JACQUIOT *ET AL.* 1973 ; SCHWEINGRÜBER 1990 ; VERNET *ET ALI* 2001 ; Données flore : RAMEAU *ET AL.* 2005A ET B.

L'identification des taxons suit une nomenclature précise se basant elle-même sur la nomenclature latine de *Flora europaea*[209].

Lorsque l'identification est limitée et qu'elle ne concerne que le genre, mais qu'il y a plusieurs espèces possibles, le charbon sera noté avec le nom du genre seul : exemple *Quercus*[210]. Dans le cas d'une incertitude entre des espèces de même genre, formant alors un groupe d'espèces anatomiquement très proches, la mention « type » est utilisée : *Pinus* type *P. sylvestris* qui signifie que le genre *Pinus* est certain tandis que l'espèce *sylvestris* est probable au même titre que les autres espèces présentant les mêmes caractères anatomiques : *Pinus uncinata, P. nigra*...

De même, le taxon peut correspondre à plusieurs genres possibles ; dans ce cas on notera les noms des genres sans abréviation en les reliant par un slash : *Salix/Populus.* Un doute sur l'espèce ou le genre peut se produire lors d'une observation interdisant la possibilité d'affiner l'identification. L'échantillon comprend alors la mention « *cf* » précédant la notation désignée comme probable : *Pinus cf sylvestris* signifiant du pin probablement sylvestre ou encore *cf Pinus* signifiant probablement du pin.

Parfois, le taxon ne peut être différencié que comme un conifère ou un feuillu (gymnosperme ou angiosperme). De plus, lorsque l'observation ne fournit aucune caractéristique (échantillon en très mauvais état) le taxon est noté par la mention « Indéterminable ». Enfin, il est noté « Indéterminé » lorsque quelques caractères, mais trop insuffisants pour indiquer une quelconque famille ou genre, ont été observés.

Que ce soit dans le cas de bois carbonisé ou de bois gorgé d'eau, les photographies des plans anatomiques des différentes essences rencontrées au cours des analyses ont été réalisées au microscope électronique à balayage de Rennes 1[211], permettant d'obtenir de fortes profondeurs de champs.

B. GALERIES, VERMOULURES ET CHAMPIGNONS : DE NOUVELLES INFORMATIONS

Au fil des premières analyses réalisées au cours de la formation universitaire, diverses traces et déformations du bois ont été repérées sur les charbons de bois archéologiques. Puis, plus tard, la méthodologie décrite ci-après a été appliquée sur les bois gorgés d'eau.

L'objectif recherché ici est de développer un procédé de reconnaissance des insectes xylophages et de comprendre leur rôle et leurs traces au sein de contextes archéologiques : les outils à utiliser, l'observation des échantillons et prendre conscience des avantages et des limites de cette méthodologie et de son adaptabilité selon les contextes archéologiques. Ainsi, à l'analyse anthracologique ou xylologique classique, s'ajoutent la recherche et l'observation, très chronophages, des traces laissées par les insectes xylophages dans les charbons et les bois archéologiques.

[209] CHABAL 1997, 20.
[210] Auparavant, il aurait été suivi de la mention abrégée de « *species* » donc noté : *Quercus sp.*
[211] Photographies financées par l'OSUR et effectuées avec le concours de Loïc JOANNY, CMEBA-ScanMAT.

1. Pourquoi observer les traces des insectes et des champignons xylophages ?

Trois grands types d'infestations d'arthropodes ou d'insectes, pas forcément xylophages, sont possibles qui peuvent laisser des traces dans le bois (galeries, élytres...).

- Les infestations actuelles

Elles surviennent entre deux campagnes de fouille ou lors de la phase de conditionnement des échantillons. Des individus (arthropodes, champignons en surface de l'échantillon, acariens ou insectes) vivent et meurent dans le bois archéologique qu'il soit gorgé d'eau ou carbonisé (si ce dernier est très humide) (FIGURE 13).

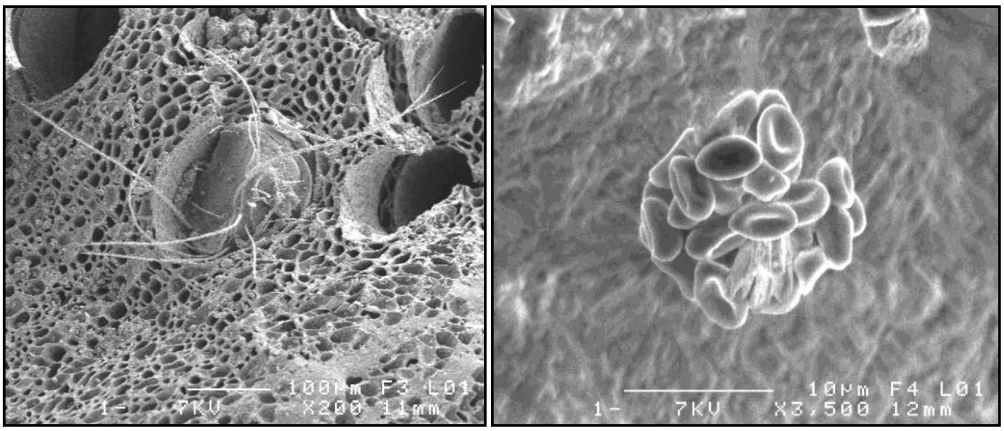
a.  **b.**

FIGURE 13 - Exemples d'individus actuels. **a.** Un acarien non carbonisé dans un vaisseau d'échantillon de chêne carbonisé, Camelin (83). **b.** Formation fongique (spores) non carbonisée sur charbon de bois, col d'Adon (06). Cl. L. JOANNY, CMEBA.

- Les infestations dites « taphonomiques »

Elles correspondent à une arrivée d'arthropodes généralement liés à l'humidité du sol et de l'artéfact (sous-terrain) à une date indéfinissable pour l'heure, mais avant la mise au jour des vestiges archéologiques. Ce phénomène est assez fréquent sur les charbons mais très rare pour les bois gorgés d'eau de par leur milieu en anaérobie. Les individus observés peuvent se situer dans des galeries, parfois appartenant anciennement à d'autres insectes xylophages (présence de vermoulures). Ils sont souvent recouverts d'hyphes de champignon (filaments blancs ou orangés) et paraissent « fantomatiques » en raison de leur peau transparente et blanchâtre (mues de croissance, ou restes d'élytres) (FIGURE 14).

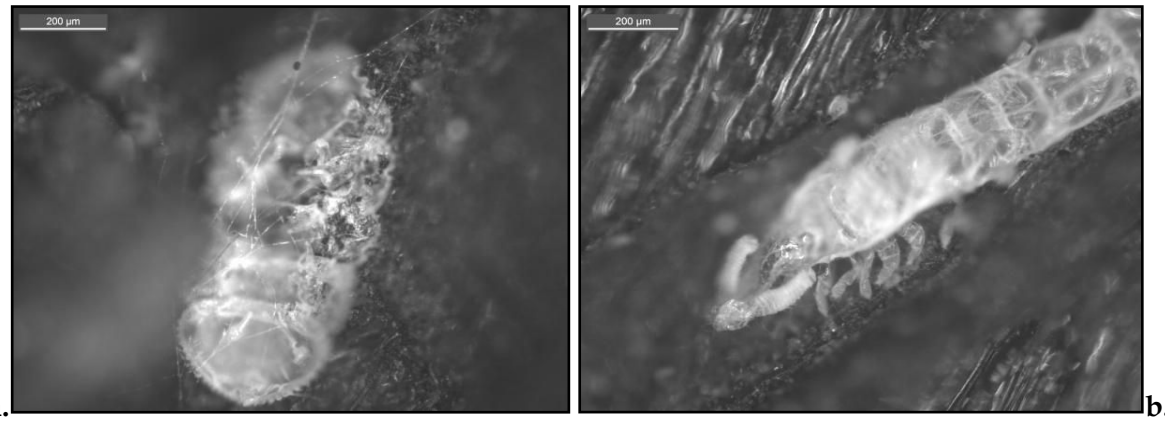
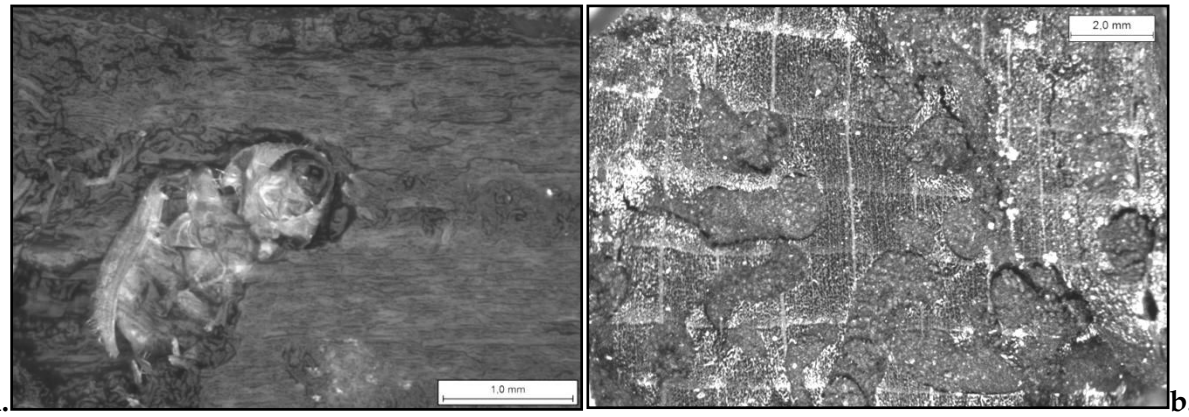
a.  **b.**

FIGURE 14 - Exemples d'individus taphonomiques. **a.** Un arthropode non carbonisé de type cloporte recouvert d'hyphes. **b.** Une mue non carbonisée d'arthropode de type *Scolopendria* dans une galerie. Bois carbonisé, col d'Adon (06).

- Les infestations archéologiques

C'est sur leur observation et leur dénombrement que repose la plus grande partie de ce travail. Elles concernent en priorité les traces indirectes (galeries et vermoulures) que laissent les insectes xylophages dans le bois gorgé d'eau et dans les charbons de bois archéologiques (FIGURE 15). Des restes de chitines peuvent être retrouvés dans le bois lors d'une mortalité de la population. En effet, pour rappel, ce sont dans la plupart des cas les larves qui sont xylophages et une fois devenus adultes, les insectes creusent les dernières fibres qui les séparent de leur envol.



a. **b.**

FIGURE 15 - Exemples de traces d'insectes archéologiques. **a.** Scolytide prisonnier de sa galerie, bois gorgé d'eau, Rezé (44). **b.** Coupe transversale de hêtre parsemée de galeries remplies de vermoulures, bois carbonisé, ilôt Camelin (83).

Lorsque les traces de l'insecte sont déterminées et que l'on a identifié une espèce (ou un genre), il est possible d'obtenir des indications sur le moment de l'infestation du bois archéologique, c'est-à-dire, s'il a été infesté lors de son fonctionnement en tant que bois d'œuvre ou avant sa coupe, pendant sa mise en œuvre, lors d'une période de stockage...

En France, actuellement, il existe près de 550 espèces d'insectes xylophages[212]. Chacune de ces espèces colonise préférentiellement une ou plusieurs essences ligneuses, et ce, quel que soit le contexte. Chacune d'elle présente le plus souvent des exigences particulières. Les insectes n'attaquent pas n'importe quel bois dans n'importe quelles conditions : bois tendres ou non, conifères ou feuillus ou les deux, bois sur pied, bois mort, bois en décomposition ou bois de stockage, présence de champignon ou non, *etc*. C'est au cas par cas.

En résumé, le moment de l'infestation peut avoir lieu, du plus ancien au plus récent : lorsque le bois est sur pied, lorsqu'il est malade ou fraîchement abattu/mort, lors d'une éventuelle phase de stockage, lors de son utilisation en tant que bois d'œuvre, lorsqu'il est en décomposition avancée, après l'enfouissement des vestiges et avant les investigations archéologiques ; entre deux campagne de fouille ou pendant la fouille (s'il pleut beaucoup par exemple, ou un mauvais conditionnement), pendant le conditionnement ou une exposition (FIGURE 16).

Enfin, il est tout aussi important de prendre en considération l'absence des traces dites archéologiques sur les bois. Cette absence soulève alors de nouveaux questionnements. Le bois est-il sain ou est-ce un effet de fouille ? Dans le premier cas, lorsque le bois est entreposé

212 FAUNA EUROPAEA : https://fauna-eu.org/; DIROL, DEGLISE 2001 ; LACLOS, BÜCHE 2008 ; BERGER 2012 ; PAULIAN 1988 ; DAJOZ 2008.

ou ouvragé, cet état de fait attire diverses espèces d'insectes. Toutefois, si le bois demeure sain, on peut se poser la question de l'utilisation d'une protection particulière (poix, amurque...)[213], ou d'un type de bois choisi en fonction de ses propriétés de résistance face aux ravageurs : est-ce un bois jeune/vert ? Fabrique-t-il un tanin naturel ? Dans cette perspective, il convient de s'intéresser à d'autres disciplines comme la chimie appliquée au bois par exemple, et d'être attentif au contexte archéologique donné d'où est issu l'échantillon. Cependant, il ne faut pas négliger la possibilité du deuxième cas : « l'effet de fouille ». C'est-à-dire qu'il est possible que la vision de l'archéologue soit tronquée, ce qui est relativement courant en archéologie de par la définition même de « vestiges ». Par exemple, le bois a pu ne pas être entièrement brûlé et donc décomposé, ou à l'inverse les extrémités de l'objet ont disparu en cendre, les galeries avec.

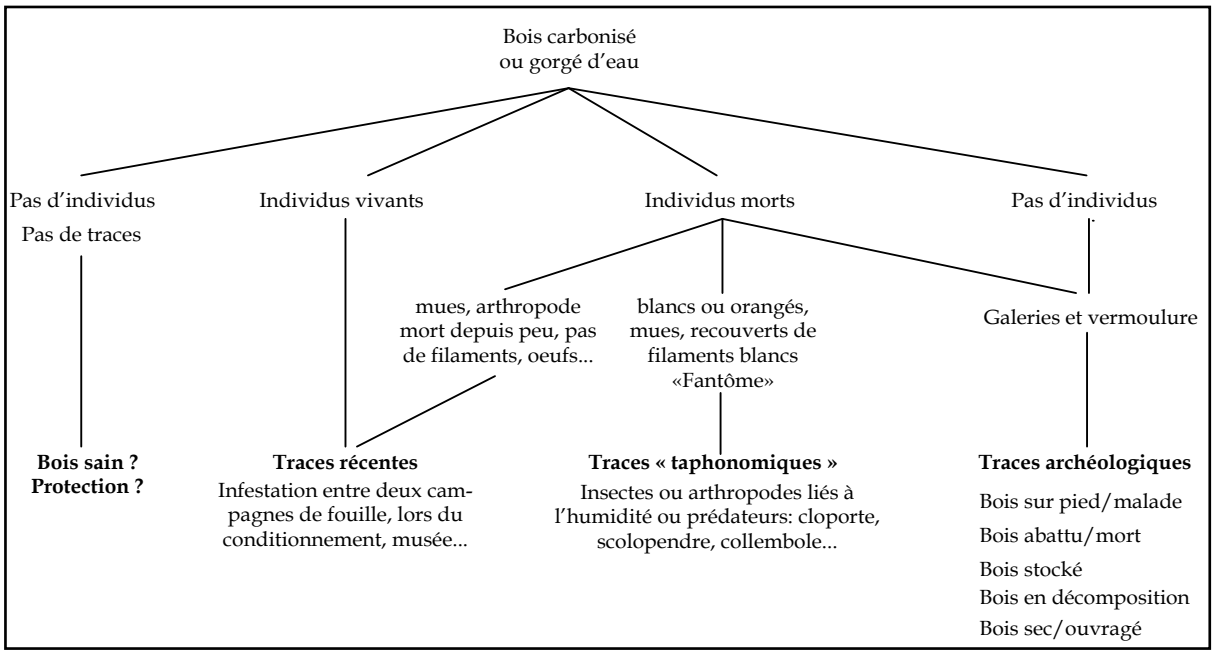


FIGURE 16 - Schéma explicatif résumant les différents types d'infestation des bois archéologiques.

- Localiser la source de l'infestation

Grâce à un prélèvement fiable, il est possible, lors de l'analyse en laboratoire, d'effectuer des statistiques en comptant le nombre de galeries (archéologiques) sur chacune des pièces de bois qui composent la structure (auparavant individualisées lors de la fouille). Ensuite ces données sont représentées sur un plan et les proportions d'infestation pour chaque élément en bois apparaissent. Théoriquement, on peut admettre que lorsqu'une colonie d'insectes[214] attaque un bois, la génération suivante ira préférentiellement attaquer ce même support nourricier, car attirant nutritivement, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la pièce de bois ne soit plus attractive. La prochaine vague d'infestation déplacera alors son attaque sur une cible proche, par exemple la pièce de bois adjacente[215]. Une zone plus infestée que les autres peut alors apparaître au sein de la structure. En corrélant ces statistiques avec les données archéologiques et anthraco(xylo)logiques, l'hypothèse de la localisation du point de départ de l'infestation peut être proposée.

[213] *Cf.* Chapitre I, pages 63.
[214] *Cf.* Chapitre I, pages 69.
[215] GAMBETTA 2010 ; NAGELEISEN *ET AL.* 2010.

Dans ce développement, il est considéré qu'une galerie correspond à un individu. L'observation des traces se complique alors, car il ne faut pas compter deux fois (ou plus) la même galerie. Il est nécessaire de bien vérifier comment celle-ci se faufile au sein des fibres du bois en décortiquant soigneusement l'échantillon, d'où l'intérêt de prélever la pièce, en entier ou en section, orientée et conditionnée sur un support rigide[216].

- Estimer la durée de l'infestation

La question de la durée depuis le début de l'infestation, revient régulièrement chez les agents du patrimoine dans les musées ainsi que dans le domaine judiciaire. Pour ce dernier, ces interrogations interviennent lors d'un litige après l'achat d'un bien immobilier infesté, le plus souvent par la mérule, un champignon lignivore. Un expert essaye de déduire « une première date » de l'infestation afin de savoir qui doit payer les travaux entre l'ancien propriétaire ou le nouveau[217]. L'ancienneté de la vermoulure sur du bois (non carbonisé) ancien ou récent : charpente d'église ou de maison, objets d'art, meubles par exemple est un point complexe à appréhender. En effet, il est, à l'heure actuelle, impossible de déterminer avec certitude si la vermoulure visible sur une structure est récente ou si elle est présente depuis déjà plusieurs années. L'hypothèse d'une vermoulure tassée, se détachant « en bloc » de la galerie serait une indication d'ancienneté contrairement à une vermoulure « légère et volatile ». Cependant, aucune étude précise n'a encore eu lieu sur le sujet. Il pourrait y avoir éventuellement des pistes avec l'ADN et les analyses des acides aminés et autres enzymes de digestion des insectes mais cela reste à développer.

Pour les vermoulures conservées sur les bois archéologiques, la question reste la même lorsqu'il s'agit de bois gorgé d'eau prélevés lors de fouilles anciennes et séchés naturellement, accroissant leur attractivité pour des insectes actuels. En revanche, lorsqu'il s'agit de bois gorgé d'eau fouillé récemment et dont les méthodes de prélèvement et de conditionnement maintiennent le bois dans son état, alors les traces d'insectes peuvent être considérées comme étant d'origine, c'est-à-dire avant l'enfouissement des vestiges. Le cas est plus simple pour les bois carbonisés. Aucun insecte ne peut, à notre connaissance, se nourrir de bois carbonisé. Ainsi, lors de la découverte d'une structure carbonisée, les galeries et les vermoulures conservées attestent d'une infestation avant la carbonisation et probablement (selon les cas) au moment de l'utilisation de la structure. Cette « durée de colonisation » de la structure ouvragée par les insectes xylophages en présence, peut être alors plus facilement appréhendée via la connaissance de la biologie de l'insecte, c'est-à-dire de la durée du cycle évolutif[218] et par le nombre de générations observables sur les bois. Ce laps de temps connu ouvrirait les perspectives d'interprétations en archéologie, car la déduction de la durée minimale de fonctionnement de la structure serait possible. Par exemple, un plancher infesté par cinq générations de petites vrillettes, *Anobium punctatum* (DE GEER, 1774), serait en fonctionnement depuis au minimum 5 ans et au maximum de 20 ans si les conditions n'étaient pas favorables puisque le cycle d'*A. punctatum* est de 1 à 4 ans. Par conséquent, une moyenne de 10 ans est le plus souvent proposée.

[216] Un peu comme si on effectuait une fouille dans la fouille.
[217] Communication orale Nantes, juin 2018 ; CTBA 1996.
[218] *Cf.* Chapitre I, page 69.

Il s'agit d'une problématique nouvelle qui peut être intéressante pour l'archéologue. Or pour l'heure, il est impossible de définir avec exactitude un nombre de génération car ce nombre dépend d'une part, de l'espèce en question et d'autre part, de l'environnement ambiant (température, humidité...). Si celui-ci est optimal, les générations se succèdent plus rapidement qu'en contexte difficile (hiver rigoureux, temps trop sec, *etc.*). Le contexte archéologique, de par sa nature, limite souvent la connaissance de ces informations et l'on ne ferait alors qu'extrapoler les données. En l'état actuel, il est seulement possible de supposer s'il y a une seule génération ou si on en soupçonne au minimum deux. Cette situation est observable par les recoupements des galeries (FIGURE 17). Théoriquement, on considère qu'il y a plusieurs générations lorsqu'un nombre important de galeries est comptabilisé sur une petite surface (5 cm², plus de 50 galeries) qui se recoupent entre elles. Une larve privilégie un bois sain, ou attaqué par des champignons, le rendant ainsi plus digeste. Elle évite de croiser les galeries fraîches des autres larves. Ce phénomène se voit très bien chez les Scolytidés par exemple (FIGURE 18). La larve libère des enzymes permettant alors aux autres larves d'être au fait de sa position et l'évitent ainsi soigneusement pour ne pas se faire concurrence[219].

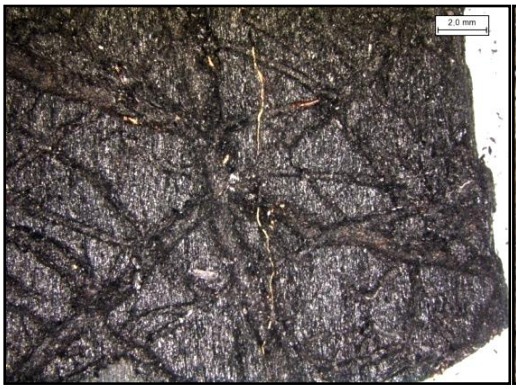


FIGURE 17 - Galeries qui se recoupent les unes les autres, une douzaine de galeries visibles sur 2 cm², bois carbonisé, îlot Camelin (83).

FIGURE 18 - Galeries de type Scolytidés. Galerie verticale correspond à la galerie de ponte de la femelle adulte et les autres galeries "perpendiculaires" correspondent aux galeries larvaires qui ne se recoupent pas, écorce de mélèze actuel, Suisse.

2. Observations et enregistrements des traces des ravageurs lignivores

a. Outils

Dans le chapitre I[220], il était question de machines, telle qu'ATAX par exemple, détectant la présence d'insectes xylophages vivants dans les œuvres en bois. Ces machines s'avèrent inutiles en archéologie[221], et il faut donc passer, dès le déroulement des opérations archéologiques sur le terrain, par des phases d'observation attentive des échantillons pour détecter et caractériser leur présence.

Durant la fouille, les grosses pièces de bois gorgé d'eau (type sablière) doivent être observées avant d'effectuer les sections dendrochronologiques et les photographies ou

[219] NAGELEISEN *ET AL.* 2010 ; DIROL, DEGLISE 2001.
[220] *Cf.* pages 72.
[221] Hedges 2012.

photogrammétries, en scrutant chaque face soigneusement à l'œil nu ou avec une loupe, afin de repérer les éventuels trous d'envol. Il est possible de dessiner les pièces afin d'y localiser les galeries.

Les petites pièces en bois gorgé d'eau sont à sortir une à une de leur sac (ou bac), nettoyées à l'eau claire puis examinées à l'œil nu ou sous une loupe binoculaire (FIGURE 19). Des photographies sont effectuées avant le conditionnement, avec une échelle, sur plusieurs faces lorsque c'est possible. Il en est de même pour les structures carbonisées, trop complexes pour une lecture sur le terrain. L'analyse des charbons se déroule sous la loupe binoculaire, avant la réalisation des coupes anatomiques du bois et leur observation au microscope. En effet, la loupe offre une meilleure visibilité des galeries et des vermoulures dans leur globalité que le microscope à réflexion.

FIGURE 19 - Station de travail au CICRP équipée d'une loupe binoculaire, reliée à un analyseur d'images.

Afin d'effectuer des mesures exploitables des galeries et des vermoulures, les observations ont été réalisées à l'aide d'un microscope stéréoscopique Olympus SZX12 muni d'une caméra numérique JAI (digital camera AT-200GE) et de deux objectifs (0.5× et 1×). L'analyse des images est effectuée à l'aide d'un logiciel de traitement d'image Archimed (Microvision) qui est équipé d'outils de mesures et d'un multifocus.

De plus, afin d'analyser à l'échelle microscopique certains détails des vermoulures qui parfois ne mesurent que quelques microns, une observation des échantillons au microscope électronique à balayage[222] a été réalisée. Les photographies ont été effectuées par l'équipe du CMEBA-ScanMAT de l'université de Rennes 1 (Centre de Microscopie Électronique à Balayage et micro-Analyse)[223].

b. Comment observer les galeries ?

Tout d'abord, il est préférable de placer l'échantillon sous une loupe binoculaire plutôt que sous un microscope afin de pouvoir observer et mesurer l'ensemble de la galerie (PLANCHE 11 a, c et e). La prise de la mesure s'effectue depuis l'ordinateur, en plaçant les marqueurs sur la limite interne de la paroi de la galerie. L'objectif est d'obtenir le diamètre. Ce protocole fonctionne quelque soit le plan anatomique du bois visible (transversal ou longitudinal) (FIGURE 20). Dans le cas où les galeries sont nombreuses, elles sont numérotées. De plus, si elles sont de la même espèce, les plus conséquentes en taille sont mesurées en priorité et, s'ils sont visibles, les trous d'envols sont également mesurés car ils s'approchent de la taille maximale de l'insecte adulte. Lors d'un excellent contexte de conservation, il est même possible de suivre la progression d'une larve dans le bois en prenant le diamètre de sa galerie à plusieurs endroits. La larve de premier stade, par exemple, façonne des galeries plus petites qu'au deuxième stade. Les mesures peuvent se jouer à quelques microns, mais

[222] JEOL JSM 6301F à pointe de tungstène.
[223] Projet de photographies au MEB financé par l'OSUR.

elles restent dans certains cas visibles. La direction qu'a prise l'insecte au sein du bois peut être appréhendée en suivant la limite de l'aubier, en évitant un nœud, ou en se dirigeant vers la tête ou les racines de l'arbre.

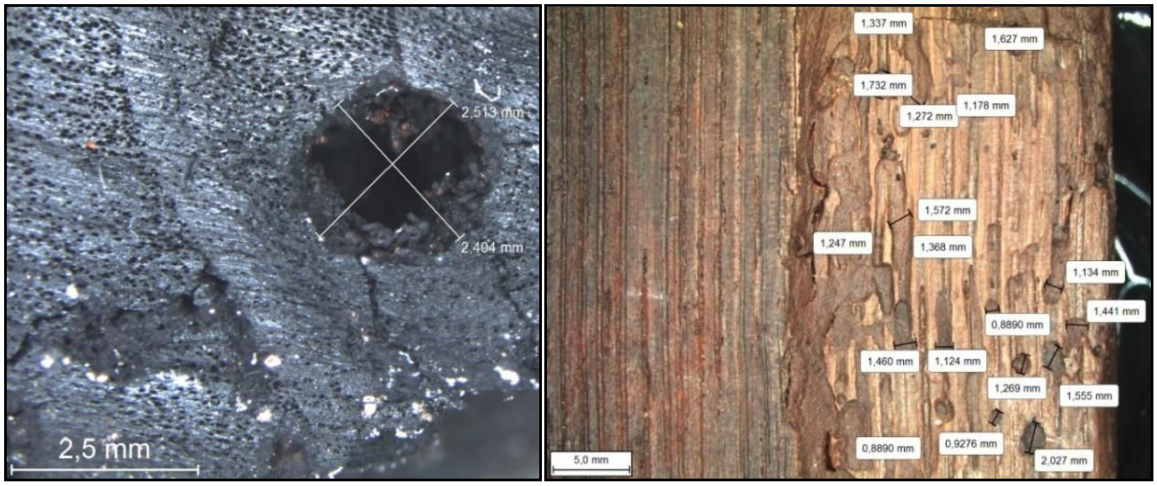


FIGURE 20 - Exemples de mesures de galeries sur charbon de bois (gauche) et sur bois gorgé d'eau (droite), sur un plan transversal et sur un plan longitudinale tangentiel, sites : îlot Camelin (83) et Rezé (44).

Sur le charbon de bois, les galeries sont visibles, mais plus difficiles à lire en raison de la réduction et des déformations liées à la carbonisation comme les fentes de retrait par exemple. Il faut parfois les chercher un moment avant de pouvoir les examiner. On peut les repérer sous microscope car elles forment une zone brouillonne avec des vermoulures et des fibres dans tous les sens. Le spécialiste qui analyse l'anatomie du bois peut aisément remarquer ce type de « perturbation » des cellules (FIGURE 21).

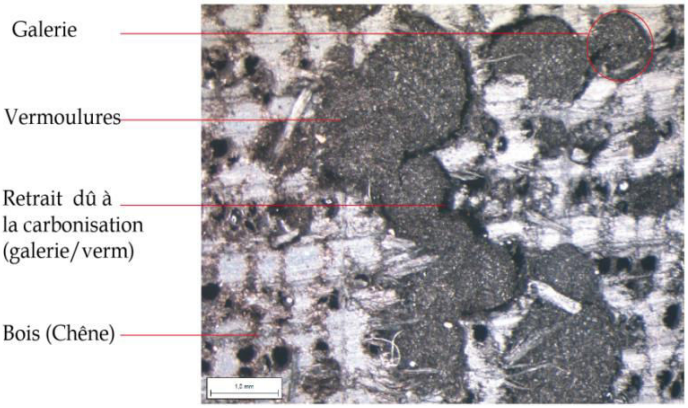


FIGURE 21 - Observation de galeries carbonisées.

Ensuite, il est nécessaire de noter toutes les caractéristiques possibles et observables d'une galerie afin de ne pas la confondre avec des perturbations environnantes des vestiges en bois comme les tunnels produits par les racines actuelles. Il faut ainsi être attentif à :

- la localisation dans le bois : bois initial, bois final, aubier, duramen, ciblage de cellules en particulier ou non...
- la forme générale : ovale, ronde, irrégulière.
- la netteté des parois : cassures franches, copeaux.
- le sens de la galerie : suit-elle le fil du bois ? Est-elle perpendiculaire/oblique au fil ?
- y-a-t-il des déformations anatomiques du bois en lien avec la galerie ? C'est-à-dire que la croissance de l'arbre semble être tributaire de la galerie présente. Auquel cas, le bois était encore sur pied au moment de l'infestation et il a continué à croître. Dans le cas inverse, l'insecte est alors intervenu après la mort de l'arbre.
- Présence de vermoulure.

c. Comment observer les vermoulures ?

- Sur bois gorgé d'eau

Comme pour les traces d'outils, les galeries préservées par les contextes archéologiques humides sont bien visibles (PLANCHE 11 b et d). Elles semblent même avoir plus de chance d'être conservées que les galeries carbonisées, malgré l'érosion possible de l'eau. Il est à noter que certaines traces pouvant être superficielles, telles que les galeries des insectes cambiophages (scolytes par exemple), sont plus aisément préservées. Le phénomène de carbonisation pouvant être plus ou moins complet, il risque de ronger ces parties superficielles du bois.

Les vermoulures gorgées d'eau sont en revanche plus complexes à observer que les vermoulures carbonisées en raison notamment de la vase qui peut s'infiltrer dans les galeries et de la nature même de la vermoulure. En effet, les unités sont composées de bois digérés et sont donc plus fragiles que le support nourricier. Elles ont une tendance forte à gonfler sous l'effet de l'eau, qui ramollit alors les fibres restantes et non digérées et facilite le délitement de la vermoulure.

De plus, scinder une galerie en deux, dans le sens de sa longueur est plus difficile que sur un échantillon carbonisé. On peut toutefois procéder à l'exercice en plongeant une aiguille de couturière dans la galerie et en grattant délicatement ses parois. Il est essentiel de récupérer la vermoulure de manière douce, sinon de nombreuses fibres du bois composant les parois se détacheront et fausseront les résultats, car certains insectes, notamment des hyménoptères (ex: *Sirex*) forment des copeaux de bois en creusant leurs galeries. On risquerait d'indiquer une fausse présence de ravageurs. L'idée est de récolter quelques unités grâce à une aiguille, puis de les faire sécher lentement à l'alcool, puis à l'air libre. Le séchage lent de type lyophilisation, plus cher, (comme à Arc'Antique) n'empêche pas l'observation ni des galeries ni de la vermoulure. Le tout est au contraire bien conservé. On note cependant que quelques galeries sont bouchées par la résine préservatrice (peg).

Enfin, une fois les unités de vermoulure récoltées, séchées et mesurées, elles sont placées dans de petites boîtes de conditionnement en plastique[224] et référencées par échantillon et numéro de galerie.

- Sur charbon de bois

Pour récupérer la vermoulure carbonisée, après avoir repéré une galerie, il convient de casser le charbon dans le sens de la longueur de la galerie (PLANCHE 11 f). Les unités de vermoulure sont souvent tassées et forment de petits agrégats qui se détachent des parois de la galerie par une simple pression avec une aiguille ou par tapotement de l'échantillon au dessus d'une feuille de papier blanc. Le risque de cette dernière méthode est d'obtenir des fibres du bois en plus des vermoulures ou encore, dans le cas où deux espèces d'insectes cohabitent, un mélange des deux vermoulures. On procède au conditionnement des unités de vermoulure de la même manière que pour le bois gorgé d'eau.

[224] 36 × 23 × 6 mm, Ets. Caubère, réf : 303.

- Mesures et caractéristiques

Dans les deux cas, la vermoulure est photographiée et identifiée comme granuleuse (composée d'unités caractéristiques) ou poudreuse (sans unité). Dans les cas de vermoulure granuleuse, les unités qui la composent sont mesurées dans leurs plus grandes largeurs et longueurs (FIGURE 22).

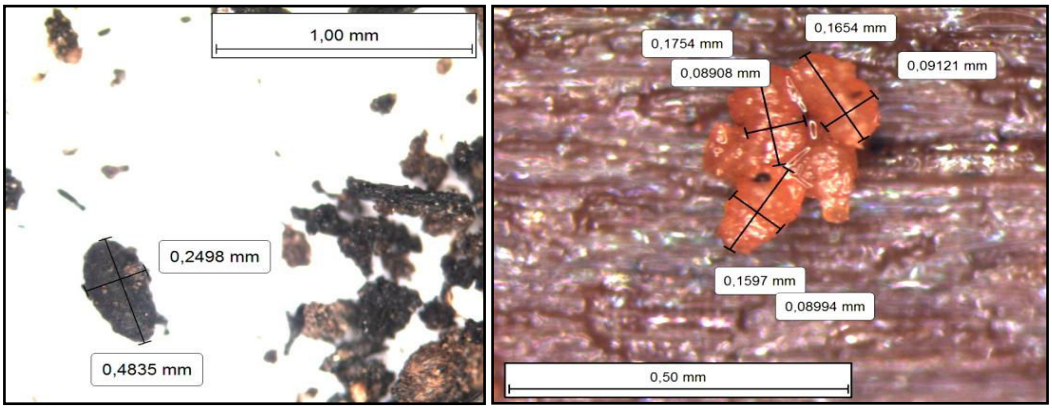


FIGURE 22 - Mesures de vermoulure carbonisée et gorgée d'eau (largeur et longueur) ; à gauche Camelin (83) et à droite Rezé (44).

Afin de pouvoir identifier de manière fiable un insecte xylophage, il est nécessaire d'observer les caractéristiques suivantes sur la vermoulure :

- la forme générale des unités lorsqu'il y en a (fusiforme, ronde, tonnelet...).
- l'homogénéité de l'ensemble de la vermoulure (présence de copeaux, de fibres...).
- les extrémités des unités (aiguës, arrondies).
- l'aspect de l'unité (effritement, lisse, irrégulière...).

Outre la loupe binoculaire, il est possible d'observer les vermoulures au MEB qui révèle ainsi des particularités de petites tailles utiles pour la différenciation entre plusieurs espèces : cellules de bois non digérées, lignes surcreusées et autres microreliefs sur la surface d'une unité.

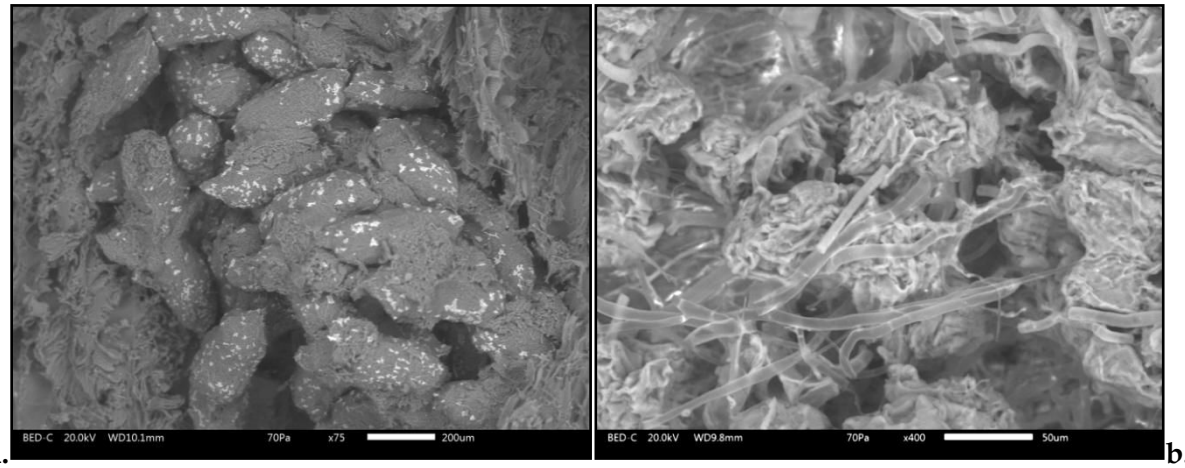
d. Comment observer les champignons ?

Tout comme pour les galeries de xylophages, les champignons (ou hyphes) sont visibles au microscope, mais leur identification et la cause de leur attaque est difficile à établir : causes archéologiques, taphonomiques ou récentes (au moment ou après la fouille)[225]. Compte tenu des traces observées sur les bois archéologiques, il a été jugé préférable de se concentrer sur les insectes, tout en notant systématiquement la présence d'hyphe associée à une infestation de xylophages (FIGURE 23). Il s'agit ici de premières pistes de recherches pour les champignons lignivores.

Un premier travail effectué par M. MOSKA DEL HOYO (2010) et son équipe, soulève la question des hyphes blancs que l'on peut repérer sur les charbons de bois en s'intéressant à trois espèces de champignons lignivores : la pourriture blanche, brune et molle. Les expériences basées sur différents protocoles (taux d'oxygène) sur du bois mort contaminé actuel ont démontré qu'après la carbonisation, les hyphes et les déformations du bois se conservent mais se différencient trop difficilement pour déterminer l'espèce en contexte archéologique. Leur présence est attestée sur toutes les coupes anatomiques du charbon de

[225] MOSKAL DEL HOYO *ET AL.* 2010, 2107.

bois. L'hypothèse actuelle est que les colonisations fongiques modernes se porteraient sur la surface des fragments des charbons de bois, tandis que les activités de pré-combustion de ces micro-organismes s'identifieraient à l'intérieur des fragments analysés. Par contre, la couleur ne donne pas d'indices fiables pour une différenciation efficace.

a. 

b.

FIGURE 23 - Exemples d'hyphes de champignon accompagnant de la vermoulure : sous forme de petits amas (**a.**) ou de filaments (**b.**), cl. L. JOANNY, CMEBA.

L'attaque fongique dans un bois pourrait indiquer un temps de stockage et/ou de séchage. Mais l'interprétation de leur présence, plus ou moins discrète, n'est pas évidente à réaliser. C'est pourquoi dans ce travail, la présence ou l'absence d'hyphe a été notée, mais n'a pas permis le développement d'outils particuliers pour l'observation et l'identification. L'intérêt s'est plus porté sur les déformations du bois liées à un champignon. Le type le plus facilement reconnaissable appartient à la famille des pourritures cubiques (ou brune) tels que la mérule, le coniophore et le lenzite (PLANCHE 11 g et h). Le bois infesté semble quadrillé par une multitude de fentes régulières le délitant, comme son nom l'indique, en petits cubes de bois. Pour les bois carbonisés, le risque est de confondre ces traces avec le craquellement naturel du bois lors de la carbonisation, or ce dernier n'est pas aussi régulièrement cubique que le champignon. Pour les bois gorgé d'eau, la difficulté réside dans la connaissance du moment de l'apparition de la pourriture cubique : lors de l'utilisation du bois en tant que structure ou plutôt lors d'une phase d'abandon ? Dans tous les cas, sa présence indique un bois qui a été en cours de dégradation lors d'une phase d'humidité importante dans l'environnement immédiat du bois (infiltration d'eau, inondation...).

C. PROBLÈMES LIÉS À L'ANALYSE ET AU CONDITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS XYLOLOGIQUES ET ANTHRACOLOGIQUES

La plupart des difficultés d'observation découle naturellement de la phase de terrain et plus particulièrement de la manière dont les prélèvements ont été effectués (*cf. supra*). Si les échantillons sont mal prélevés, la localisation de la source d'infestation est impossible, tout comme l'approche statistique sur les insectes. De même, si le conditionnement a été mal opéré, il est possible d'avoir des problèmes d'infestations actuelles pouvant en plus dégrader les échantillons. Il peut s'agir d'infestation moderne d'insectes xylophages[226] mais aussi d'autres organismes comme les collemboles et les champignons...

Malgré une méthodologie de base d'analyse théorique, commune et acceptée par l'ensemble de la communauté des anthraco-xylologues, la pratique révèle diverses adaptations selon les personnes. Un nouveau type de problème intervient au moment de l'observation d'échantillons carbonisés après une première étude anthracologique d'un autre spécialiste[227]. En effet, analyser des échantillons qui ont déjà été coupés et triés augmente les risques d'erreur. De plus, certains des charbons de ces sites ont fait l'objet d'un conditionnement global, par habitude ou surtout par souci de place dans les locaux. C'est-à-dire que pour une structure ou une US, les fragments analysés sont rangés par lot d'essence : tous les chênes ensemble par exemple. Or, habituellement, chaque fragment est isolé et numéroté (*cf. supra*). Lors d'un conditionnement individuel, les potentielles études ultérieures sont plus faciles à mettre en place. En revanche, pour les échantillons conditionnés par essence il est impossible d'être sûr que le fragment sur lequel le premier spécialiste a repéré des traces d'insectes ou de champignon soit bien le même. D'autant plus que ce même fragment est dorénavant coupé en plusieurs morceaux.

Cette sur-fragmentation technique, essentielle pour la détermination de l'essence, peut conduire à une division des galeries observées par la suite. Les comptages et les calculs de proportions ne sont, pour ces cas, pas fiables. Le risque est grave en effet de dénombrer deux fois, voire plus, la même galerie, et surestimer le nombre total d'individus réellement présents dans le bois.

[226] *Cf.* cas du site d'Alésia, Chapitre V, pages 394.
[227] Comme c'est le cas par exemple pour les sites du couvent des Jacobins (35), du four à chaux de Châteaubleau (77), et la cuisine de Chassenon (16).

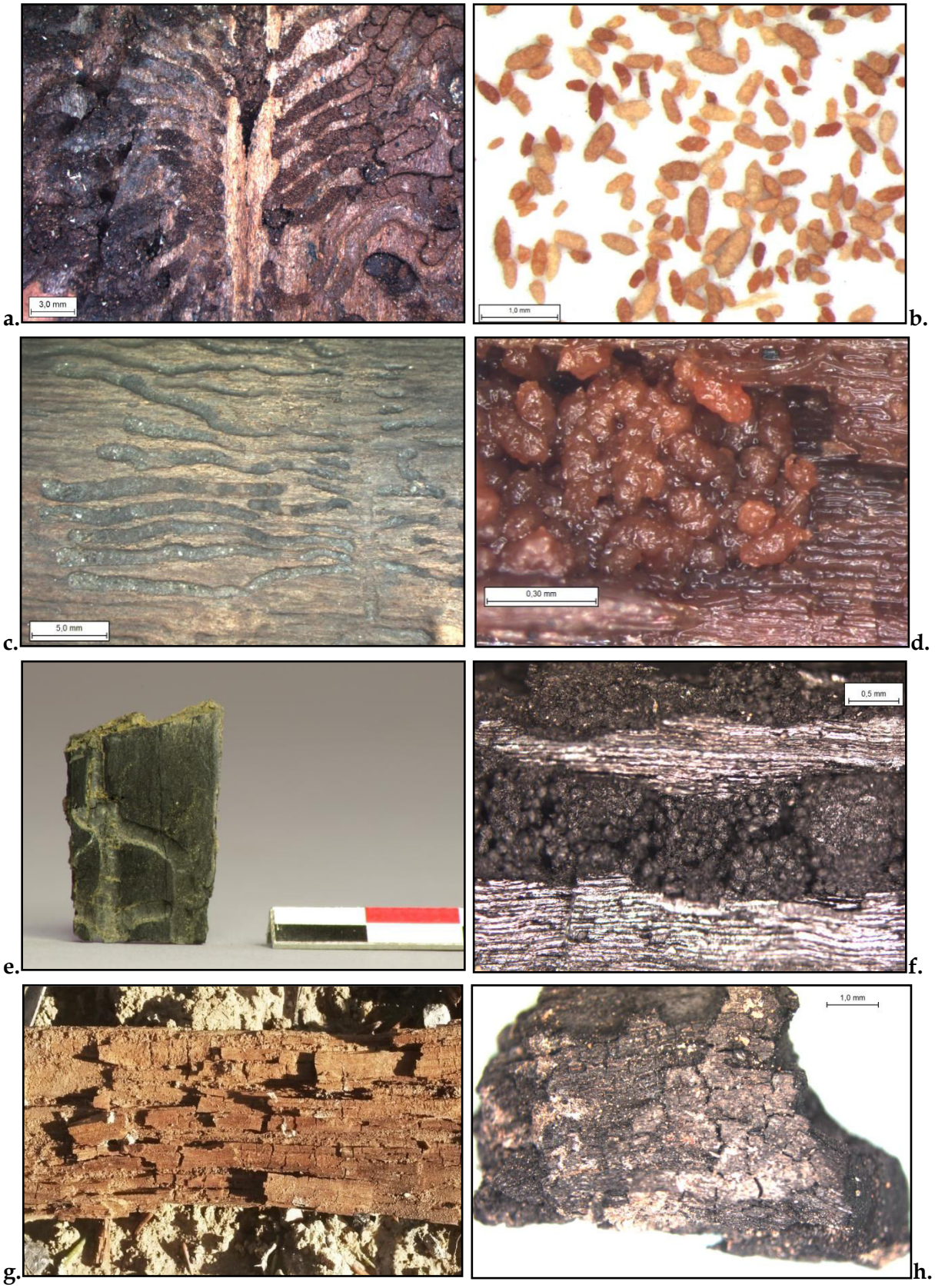


PLANCHE 11 - Traces de ravageurs ligneux. **a.** Galeries sur bois actuel. **b.** Vermoulures sur bois actuel. **c.** Galeries sur bois gorgé d'eau. **d.** Vermoulures sur bois gorgé d'eau. **e.** Galeries sur bois carbonisé, cl. G. CONTINI. **f.** Vermoulures sur bois carbonisé. **g.** Traces de champignons de type pourriture cubique, sur bois actuel. **h.** Traces de champignons de type pourriture cubique, sur bois archéologique carbonisé.

III. LA CRÉATION D'UN RÉFÉRENTIEL : LES TRACES DE QUELQUES INSECTES XYLOPHAGES ET D'AUTRES ARTHROPODES LIGNIVORES

A. UNE COLLECTION ACTUELLE DE RÉFÉRENCE

1. À partir de bois récents

a. Sélection des échantillons

- Choix des bois actuels

L'idée est de réaliser un référentiel fiable sur lequel les analyses anthracologiques et xylologiques pourraient s'appuyer pour identifier les insectes xylophages. Théoriquement, l'idée était de récolter du bois provenant de divers milieux (stockés, mort en forêt, sur pied, dépérissant, élément de meubles, *etc.*). Dans l'idéal, il conviendrait d'avoir, pour chacun de ces milieux, plusieurs pièces de bois de mêmes dimensions et d'une même essence ligneuse, formant ainsi un ensemble pour un type de bois et/ou type d'infestation. Le référentiel se multiplierait ainsi selon le nombre d'espèces ligneuses infestables (ou partie de l'arbre infestable) par une espèce d'insecte donnée. Le même procédé pourrait être effectué pour tous les types de xylophages possibles, associés à cette essence : champignon comme insecte en prenant en compte les cohabitations possibles entre certaines espèces. Par exemple, il faudrait obtenir plusieurs échantillons de chêne morts en forêt, chacun infesté par un insecte différent, puis d'autres échantillons de chêne mais cette fois provenant d'une ou de plusieurs charpentes, elles aussi infestées par différents type de ravageurs, et ainsi de suite, et pour le plus d'essences ligneuses possibles. Évidemment, compte tenu de la variabilité du vivant, de la multitude de paramètres biologiques et écologiques rentrant en compte dans le cycle de développement d'une larve et de la difficulté de trouver tous les échantillons souhaités, ce type de référentiel reste utopique. De plus, le temps imparti pour effectuer ce doctorat, qui s'inscrit dans le domaine de l'archéologie, ne permettait pas de mettre en place une série de prospections systématiques dans diverses régions et surtout dans divers milieux (montagnes, vallées, plaines, villes, *etc.*), en compagnie d'entomologistes spécialisés[228].

- Élevages et récoltes

Le parti pris a alors été de récolter, de mesurer et d'analyser les bois les plus souvent utilisés dans la construction et infestés par des insectes xylophages typiques de bois secs : vrillettes, capricornes, lyctes, *etc.* Le nombre d'espèce possible est ainsi limité, soit environ une soixantaine d'espèces[229]. Les espèces les plus courantes en France aujourd'hui sont la petite vrillette (*Anobium punctatum*) et le capricorne des maisons (*Hylotrupes bajulus*)[230]. Des élevages en laboratoire ont été initiés et sont toujours en cours afin d'observer directement les espèces xylophages (FIGURE 24). L'idée de l'élevage a émergé spontanément lors de

[228] La dernière en date a été effectuée dans les Alpes italiennes, en juillet 2018, en compagnie de F. FOHRER et d'A. CRIVELLARO.
[229] CYMOREK 1979 ; GAMBETTA, ORLANDI 1988 ; YELA 1997 ; CRIVELLARO 2005 ; FRAVAL 2008 ; COCQUEMPOT, VALLADARES 2009 ; COCQUEMPOT *ET AL.* 2012.
[230] CTBA 1996 ; FOHRER communication orale.

découvertes d'individus vivants au sein de bois récoltés lors d'analyses au CICRP. Ces familles et sous-familles s'en retrouvent détaillées avec plus de précision.

Par la suite, au fil des découvertes archéologiques, des xylophages de bois frais ont été examinés et ont ouvert les perspectives de recherche sur le référentiel actuel. Les investigations se sont alors enrichies par la récolte en forêt de nouvelles espèces (FIGURE 25).

a. **b.**

FIGURE 24 - Exemple d'élevage au CICRP, bois placé dans une boîte en plastique ou en verre (vivarium), avec un apport d'humidité. **a.** Larves de lycte sur du chêne, débuté en 2015, origine : don d'A. CRIVELLARO, woodshop, Italie. **b.** Termitière (*Kalotermes flavicollis*) sur de la vigne, débuté en 2017, origine : F. FOHRER, France.

a. **b.**

FIGURE 25 - Échantillons de bois récoltés en forêt. **a.** bois infesté sur pied, pin laricio, Gif-sur-Yvette (91). **b.** bois mort, pin pignon, abattu en forêt, Var (83).

- Un système de codage

Chaque échantillon enregistré possède un code individuel afin d'être inventorié et permettant d'ajouter ultérieurement un nouvel individu à la base de données (TABLEAU 3). Un code composé de lettres et numéroté est attribué à chaque échantillon. Ce code permet de répertorier facilement et de sélectionner l'échantillon souhaité pour une observation ou une expérience. L'ajout d'un nouvel échantillon récolté ultérieurement est facilité par ce système. La première partie du code (lettre) correspond à l'initiale du nom latin de l'essence ligneuse échantillonnée.

Que ce soit pour les bois frais ou les bois secs, ceux-ci doivent être colonisés par des insectes identifiables. Autrement dit, la présence d'un *imago**, ou insecte adulte, est essentiel

pour confirmer l'appartenance des traces laissées dans le bois à cette espèce. Parmi tous les échantillons, une vingtaine ont été conservé pour être présentés ici. Ils étaient accompagnés d'un ou de plusieurs individus adultes identifiés à l'espèce par F. FOHRER (TABLEAU 4). Ainsi, l'origine des traces observées était certaine.

Essence ligneuse	Code
Abies alba	A
Castanea sativa	C
Fagus sylvatica	Fag
Ficus carica	Fic
Larix	La
Pinus halepensis	Pia
Picea	Pic
Pinus pinea	Pip
Pinus sylvestris	Pisy
Populus	Pop
***Quercus* fc**	Q
Quercus ilex/Q. coccifera	Qi
Thuya	Thu
Zyzyphus	Zy

TABLEAU 3 - Codes donnés en fonction de l'essence ligneuse.

Dans certains cas, des insectes ont été récoltés soit sur des petits échantillons, soit sur de l'écorce seule, soit sur du bois agglomérés... Ces échantillons sont alors notés comme suit : Res pour un résineux, Feu pour une essence feuillue et Inc pour un échantillon inconnu ou composé d'essences diverses.

CODE	Lieu	Essence	Type de bois					Type insecte	Type Chp
			mort en forêt	sur pied	sec/ stocké	traité	Ouvragé		
AO1	CICRP	*Abies alba*	-	-	-	-	x	*Anobium punctatum*	-
FagT1	CICRP	*Fagus*	-	-	-	x	-	*Oligomerus plitinoide*	-
FicO1	Italie	*Ficus carica*	-	-	x	-	-	*Penichroa fasciata*	-
IncT2	CICRP	Agglo-mix	-	-	-	x	x	*Nicobium castaneum*	-
LaO1	Eyglier	*Larix*	-	-	-	-	x	Capricorne	-
LaO2	Italie	*Larix*	-	-	-	-	x	*Cossoninae*	cubique et fibreuse
PicE1	Suisse	*Picea* sp.	-	-	x	-	x	*Ips typographus*	-
PicO1	CICRP	*Picea-abies*	-	-	-	-	x	*Anobium punctatum*	-
PicO4	Italie	*Picea-abies*	-	-	-	-	x	*Hylotrupes bajulus*	-
PisyO1	Riez	*Pinus sylvestris*	-	-	-	-	x	*Anobium punctatum*	-
PisyO2	CICRP	*Pinus type sylvestris*	-	-	-	-	x	Capricorne	-
PopO1	Riez	*Populus sp.*	-	-	-	-	x	*Nicobium castaneum*	-
PopO2	Italie	*Populus sp.*	-	-	-	-	x	*Nicobium castaneum* *Xylocopa sp.*	cubique
QO1	Digne	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Nicobium castaneum*	-
QO2	Digne	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Nicobium castaneum*	cubique
QO3	CICRP	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Lyctus* sp	-
QO4	Italie	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Lyctus* sp	-
QO5	Italie	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Taredo navalis*	-
QO6	CReAAH	*Quercus* fc	-	-	-	-	x	*Xestobium rufovilosum*	cubique
QT1	Bordeaux	*Quercus* fc	-	-	-	x	x	Termites sous-terrain	-
TiO1	CICRP	*Tillia*	-	-	-	-	x	*Oligomerus plitinoide*	-
UlP1	Italie	*Ulmus minor*	-	-	-	-	x	Cerambycidae, Scolytinae	-
VE1	Italie	*Vitis vinifera*	-	x	x	-	-	*Bostrichus capucinus*	-
ZyO1	Italie	*Zyzyphus spina-chri*	-	-	x	-	-	*Xylotrecus stebbingii*	-

TABLEAU 4 - Inventaire des principaux échantillons de la collection de référence actuelle.

b. Observations et mesures statistiques

Lors de la création du référentiel, les différences pour chaque espèce d'insectes xylophages ont été repérées et mesurées. Les détails par espèces se trouvent dans la clé d'identification du volume III[231].

[231] *Cf.* Volume III, pages 13 à 20.

Après l'observation des galeries, *cf. supra*, qui est le premier jalon caractéristique d'une famille, il convient de repérer l'absence ou la présence de vermoulure (deuxième jalon). L'absence de vermoulure oriente l'identification vers des familles d'insectes particulières telles que les hyménoptères[232] (fourmis, sirex...) ou les xylophages vivants dans un milieu aquatique[233].

Dans le cas de présence de vermoulure au sein d'une galerie, il est nécessaire de déterminer si celle-ci est composée d'unités mesurables ou non (troisième jalon). Il se distingue ainsi les genres et espèces de xylophages produisant de la vermoulure fine ou poudreuse (ex : lycte) ou de la vermoulure granuleuse (ex : vrillette) (TABLEAU 5). C'est avec cette dernière que des mesures statistiques peuvent être réalisées pour discerner les autres familles d'insectes xylophages (vrillettes, *Cossoninae*...).

Vermoulure absente	**Vermoulure présente**	
	non mesurable	**mesurable**
Fourmis	Lyctes	Vrillettes
Xylocopes	Bostriches	Charançons *(Cossoninae)*
Sirex	Quelques cérambycides de bois frais	Scolytes *(Scolytinae)*
Xylophages aquatiques		Cérambycides, particulièrement de bois sec
		Termites

TABLEAU 5 - Récapitulatif des distinctions des grandes familles d'insectes xylophages à partir de la vermoulure.

Parmi les grandes familles fabriquant de la vermoulure granuleuse : Ptinidae, *Cossoninae, Scolytinae,* Cerambycidae *et Kalotermes* ; il est possible de déterminer la famille concernée en premier lieu par la taille, la forme et l'emplacement des galeries dans le bois. Une fois la famille déterminée, il faut discriminer entre plusieurs espèces possibles. Les mesures à effectuer sur les unités de vermoulure conduisent alors à distinguer l'espèce présente. Pour aboutir à cette discrimination spécifique, il a été nécessaire d'enregistrer toutes une série de mesures des unités pour chacune des espèces présentes dans le référentiel. On obtient ainsi une base de données statistique.

- Une étude de cas méthodologique : mesures de vermoulure des vrillettes

La famille des Ptinidae ou vrillette, comprend plusieurs espèces d'insectes xylophages typiques des bois ouvragés. C'est pourquoi, certains individus (*Anobium punctatum, Nicobium castaneum* et *Oligomerus ptilinoides*) ont été plus particulièrement étudiés[234]. La grande vrillette (*Xestobium rufovilosum*) demeure un cas à part grâce à ses unités de vermoulure lenticulaire qu'elle est la seule, à notre connaissance, capable

FIGURE 26 - Vermoulure de *Xestobium rufovilosum*, unités de forme lenticulaire.

[232] *Cf.* Volume III, pages 131 à 144.
[233] *Cf.* Volume III, pages 153 à 158.
[234] FOHRER *ET AL.* 2017 ; BLETCHLY 1953.

de produire (FIGURE 26).

Les galeries des vrillettes ne présentent pas de caractéristiques particulières permettant de différencier une espèce d'une autre. En effet, de section circulaire, elles sont majoritairement orientées dans le sens du fil du bois, mais peuvent également être creusées obliquement et perpendiculairement aux fibres du bois en évitant les nœuds et autres parties dures du bois. Les mesures des diamètres des galeries d'*A. punctatum* est au minimum 25 % plus petit (moyenne de 1,91 mm) que le diamètre moyen des galeries des deux autres espèces : 2,57 mm pour *N. castaneum* et 2,89 mm pour *O. ptilinoides*.

Or, la vermoulure de ces trois espèces est de type fusiforme, mesurables et différentiables par divers détails microscopiques. Les vermoulures des trois espèces présentent des caractéristiques morphologiques particulières (PLANCHE 12) :

- Les vermoulures d'*A. punctatum* sont pour la plupart arrondies à leur extrémité, mais plus rarement certaines d'entre elles (19 %) présentent un des deux côtés aigu. La variabilité dans les formes est grande. De plus, les vermoulures ont tendance à s'effriter facilement et peuvent avoir un aspect érodé, particulièrement aux extrémités, en vue de profil. Au MEB, des cellules entières non digérées sont visibles au sein des unités de vermoulure d'*A. punctatum.* Les unités sont composées d'agglomérats de fibres et de cellules de façon aléatoire, ce qui favorise probablement leur effritement.
- *O. ptilinoides* sécrète des vermoulures de plus grande taille, mais aussi plus régulières et uniformes les unes par rapport aux autres. Dans la majorité des cas, on retrouve une partie assez aiguë à l'apex d'une des deux extrémités de la vermoulure, l'autre extrémité est bien plus bombée et arrondie que pour *A. punctatum*. Quelques rares cellules non digérées sont observables au MEB. Les débris de bois se trouvent être organisés et placés parallèlement les uns des autres, ce qui donne à la vermoulure un aspect général plus homogène.
- Enfin, les vermoulures de *N. castaneum* sont bien différentes. Les vermoulures sont régulières, homogènes et plus sinueuses que pour les autres espèces. Les vermoulures sont plus allongées et plus étroites et les deux extrémités sont souvent très aigües. *N. castaneum* génère des vermoulures ne présentant pas de débris de bois (aucune cellule ligneuse n'a été observée). Un détail, important et invisible au microscope stéréoscopique, a été constaté uniquement sur les déjections de cette espèce : il s'agit d'une fine ligne (fente ou strie) légèrement creusée, présente sur toute la longueur d'une face de la vermoulure. De plus, on remarque, uniquement pour cette espèce, la présence de coques de nymphoses*.

Des mesures statistiques des vermoulures[235], générées par les larves lors de la digestion du bois, ont été réalisées. En tout, près de 200 unités de vermoulures ont été mesurées pour chaque espèce. Les vermoulures d'*A. punctatum,* les plus petites, ont une dimension en moyenne de 0,33 mm de longueur pour 0,16 mm de largeur. Elles restent plutôt tassées et courtes. *O. ptilinoides* génère des vermoulures en moyenne de 0,52 mm de longueur pour 0,23 mm de largeur. Des trois espèces étudiées, cette dernière présente les vermoulures les plus larges, leur donnant notamment un aspect plus bombé. Cette caractéristique de largeur discrimine plus nettement *O. ptilinoides* des deux autres espèces. Les vermoulures de *N. castaneum* (longueur de 0,49 mm et largeur de 0,19 mm) se situent entre celles des deux autres espèces. D'autre part, pour cette espèce, les plus petites et les plus grandes longueurs et largeurs sont plus importantes que pour les deux autres espèces étudiées (PLANCHE 13).

[235] Les données brutes se trouvent en Annexe 2, Volume II, page 61-66 : tableaux n° 6 à 8.

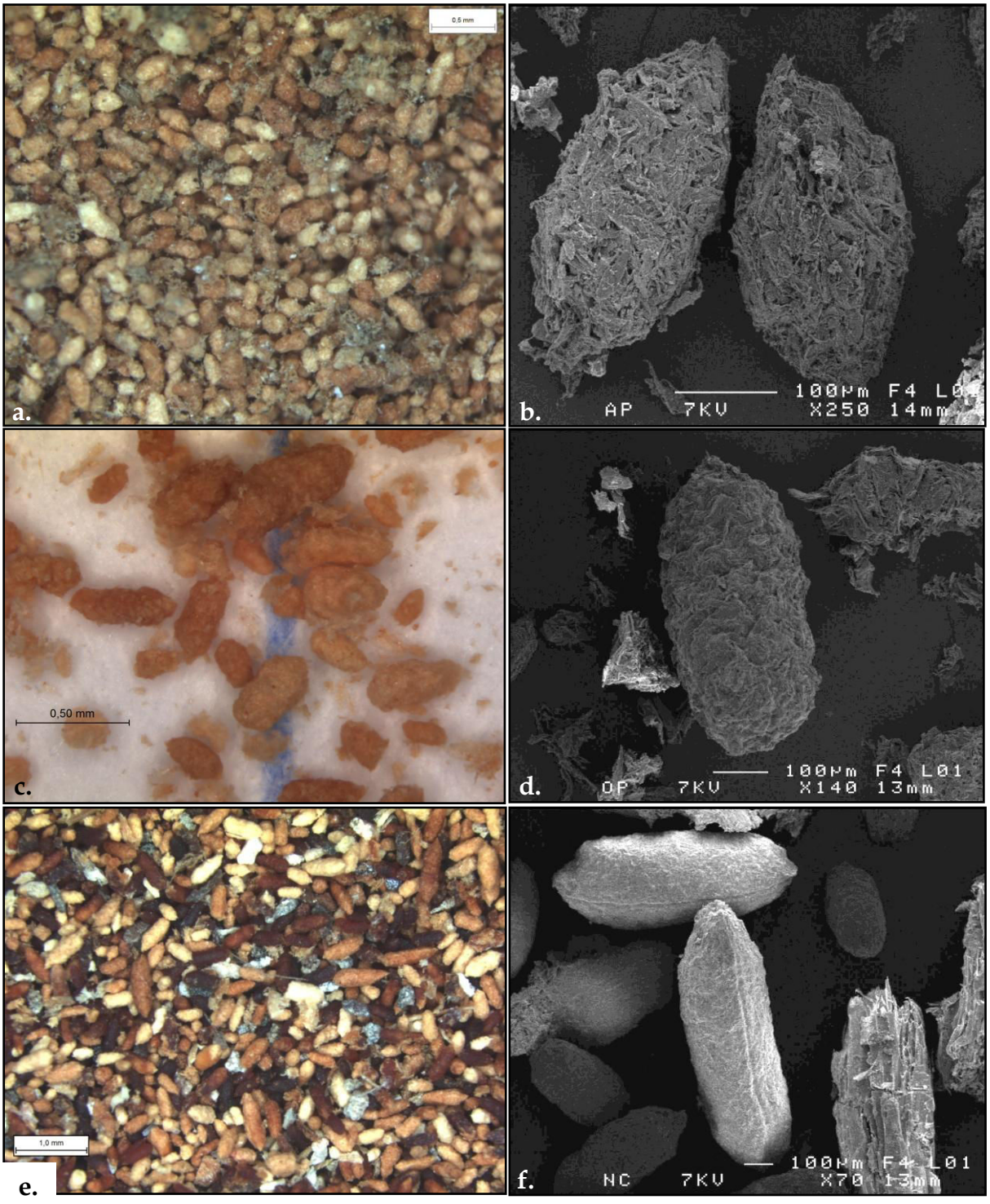


PLANCHE 12 - Vermoulures des espèces de Ptinidae. **a.** Vermoulure d'*A. punctatum*. **b.** Unités avec débris rangés aléatoirement, effritement, d'*A. punctatum* **c.** Vermoulure d'*O. ptilinoides*. **d.** Unités avec débris parallèle, d'*O. ptilinoides*. **e.** Vermoulure de *N. castaneum*. **f.** Unités lisses avec ligne creuse de *N. castaneum*.

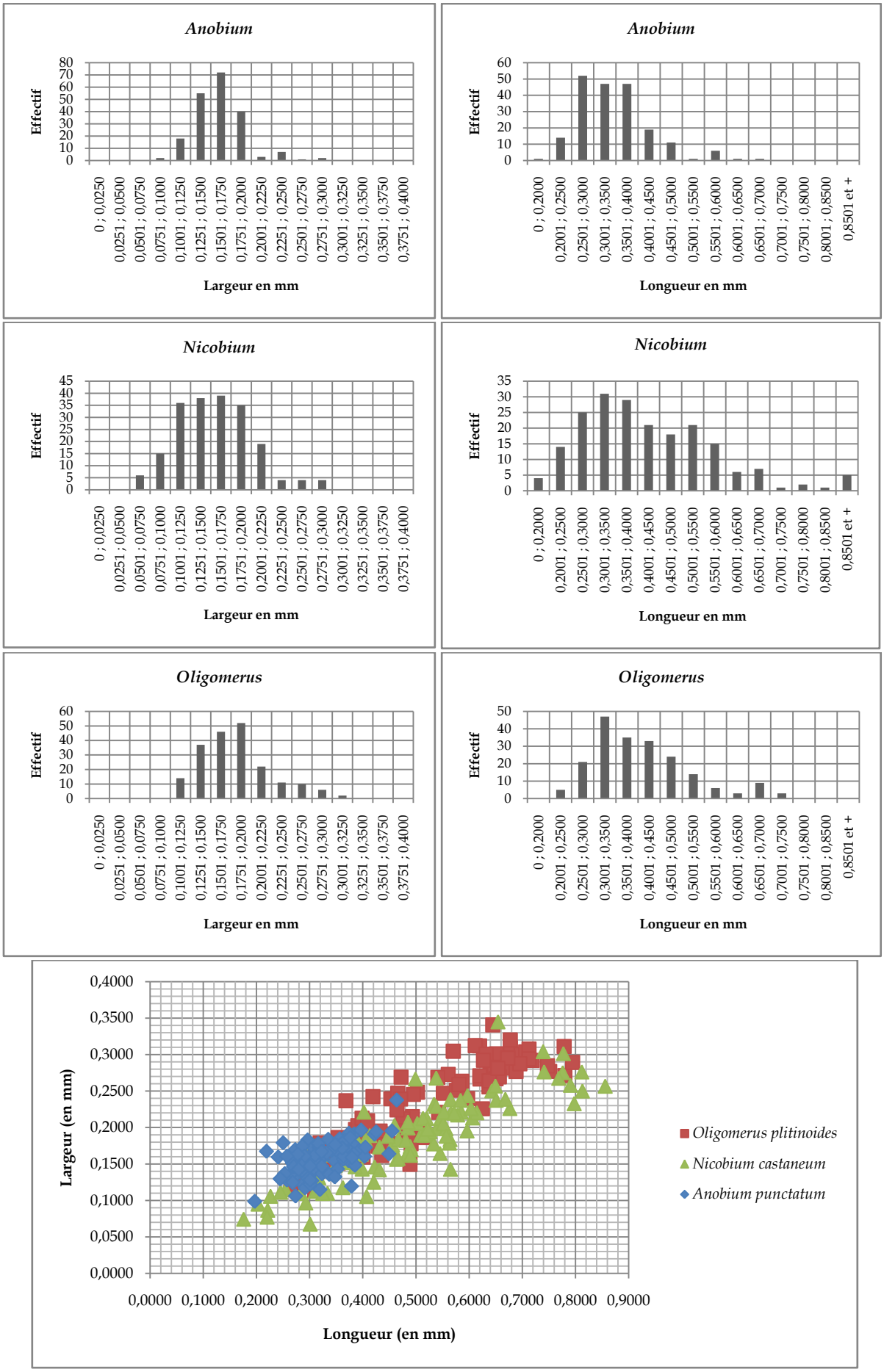


PLANCHE 13 - Détails et effectifs des mesures (largeur et longueur) des unités de vermoulure des trois espèces de vrillettes étudiées. Graphique de répartition des unités mesurées.

Les trois espèces *A. punctatum*, *O. ptilinoides* et *N. castaneum* se distinguent les unes des autres en fonction de deux paramètres : les mesures statistiques et les caractéristiques macroscopiques des vermoulures (aspect, forme générale, hétérogénéité…). Enfin, les vermoulures d'autres familles d'insectes xylophages présents dans ces même lieux et notamment celles des Cerambycidae, des Bostrychidae ou des Curculionidae mériteraient également d'être étudiées et analysées. L'espèce ainsi identifiée, il est possible, en tenant compte de sa biologie, de son cycle de développement et de son comportement, d'appréhender l'état sanitaire des bois archéologiques[236].

- Cas particulier : les lyctes et leurs besoins en amidon

En observant les différentes traces des espèces xylophages de bois secs, il a été constaté pour la famille des Lyctidae[237], que les larves ont tendance à cibler certaines cellules du bois, en particulier les gros vaisseaux du bois initial d'une zone poreuse comme le chêne ou le frêne. En parallèle, dans la documentation bibliographique, il est indiqué à plusieurs reprises que le lycte, pour son développement, se nourrit essentiellement de l'amidon du bois qui doit être « supérieur à 3% en poids par rapport au poids du bois anhydre », et infeste donc que certaines essences[238]. L'amidon se stocke majoritairement dans le parenchyme. Une étude inédite, ainsi qu'une publication[239], en collaboration avec Alan CRIVELLARO[240], sont en cours au moment de clore ce travail. L'intérêt, pour l'archéologie, est d'obtenir une caractéristique supplémentaire pour l'identification de ce type d'insecte, liée, ici, essentiellement aux galeries plus qu'à la vermoulure. Ce cas méthodologique a été essentiel pour identifier certaines galeries carbonisées (site des Jacobins et de Chassenon) et gorgées d'eau (site de Rezé) dont les caractéristiques des vermoulures étaient trop peu discriminantes[241] (FIGURE 27).

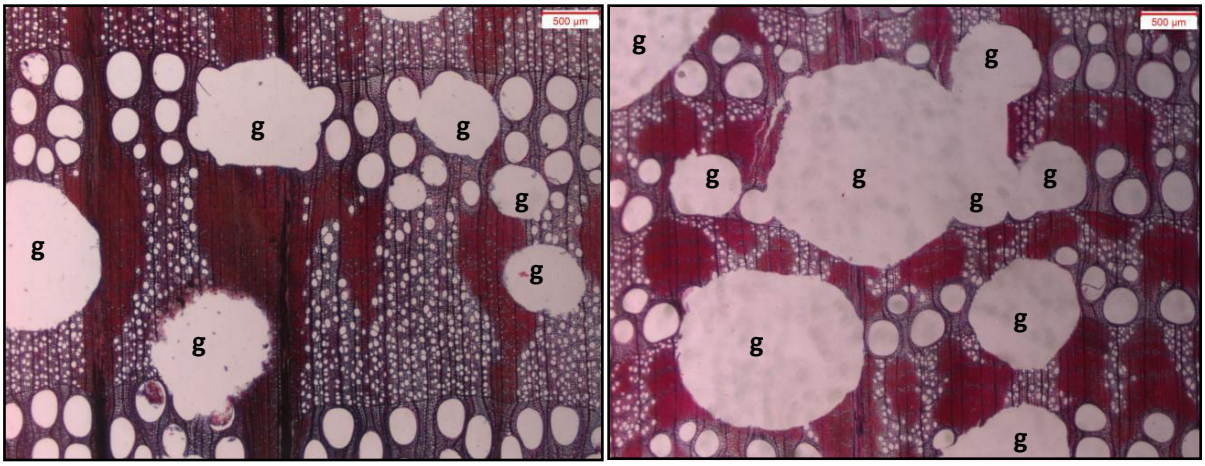


FIGURE 27 – Lames minces de chêne infesté par du lycte dont les galeries (g) ont tendance à cibler le bois de printemps, réal. en collaboration avec A. CRIVELLARO.

236 PY 2009, MOSKAL-DEL HOYO *ET AL.* 2010.
237 *Cf.* Volume III, page 93-102.
238 CTBA 1996 ; GAMBETTA 2010 ; DIROL, DEGLISE 2001.
239 CRIVELLARO *ET AL.* - *Wood anatomy and powder-post beetles decay in oak* - soumis pour publication.
240 TESAF, University of Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD) ; IVALSA – CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy.
241 *Cf.* Chapitre IV page 204 (Jacobins) et page 266 (Rezé), Chapitre V, page 403 (Chassenon) et Synthèse générale, page 445.

Ainsi, cette analyse repose, pour l'heure, sur les mesures de 32 galeries de lycte réparties sur une dizaine de lames minces préparées (éthanol, xylène), colorées (safranine et astrablue) et réalisées à l'aide d'un microtome par A. CRIVELLARO[242]. Pour chaque galerie, ont été mesurées les proportions de bois initial/final, de rayon, de parenchyme afin d'effectuer des comparaisons avec ce qui a disparu à cause des galeries. Le taux de parenchyme, qui apparait en bleu sur la lame mince grâce au colorant, pour l'ensemble des coupes a été mesuré par Beatrice TOLIO[243]. De plus, les galeries ont été divisées en trois catégories de taille représentant au minimum trois stades larvaires de la larve la plus jeune (petit diamètre : entre 0 et 0,5 mm) à la plus mature (stade larvaire 2 : 0,5-1,5 mm de diamètre ; stade larvaire 3 : 1,5 et 3 mm de diamètre). Les premiers résultats démontrent que les jeunes larves vont préférentiellement, à plus de 50%, débuter leur développement sur du bois initial, dont les cellules restent relativement souples à manger et contiennent un bon taux de parenchyme. La raison biologique est simple, il s'agit de la femelle qui pond ses œufs au sein même des gros vaisseaux du bois de printemps ; les larves démarrent ainsi par la partie du bois ayant le meilleur rapport « dureté/taux d'amidon ». Puis, plus les larves vont être matures, plus la proportion de bois mangé correspond à du bois final, qui contient plus d'amidon que le bois initial. Quelques rayons, composés presque exclusivement de parenchyme, mais très dur à manger, sont aussi attaqués par des larves matures (grandes galeries).

- Tests chimiques : mesures EDS

Quelques tests d'analyses dispersives en énergie (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy ou EDS) au MEB ont été effectués sur les bois récents de la collection de référence afin de compléter les données établies précédemment. L'objectif était de tester la composition chimique des vermoulures comparée à celle du support nourricier. Divers endroits du bois sont sélectionnés pour l'analyse de l'échantillon : bois initial, bois final, galerie remplies de vermoulures, fibres trachéides, ponctuations, une unité de vermoulure, *etc*. Grâce aux données réceptionnées par les capteurs, une courbe EDS est obtenue. Par exemple, plusieurs points d'analyse peuvent être placés sur une galerie contenant de la vermoulure ainsi que sur le bois non infesté qui l'entoure : diverses unités de vermoulure, des cellules du bois initial et final afin d'obtenir des comparaisons. Chaque « pic » de la courbe représente un atome élémentaire (carbone, aluminium, potassium...)[244] identifié[245].

Le microscope électronique à balayage autorise l'observation des échantillons, conducteurs ou non, à un fort grossissement, sans traitement et préparation préalable (pas de métallisation à l'or par exemple). De plus, cette machine possède un faisceau, renvoyant à une sonde capable de capter, à partir d'un point choisi depuis le poste informatique, les différents éléments chimiques (de la table périodique sauf l'hydrogène car il ne contient qu'un seul électron) composant l'échantillon. Afin de réaliser les mesures, il faut un échantillon ayant une surface plane afin que les données envoyées par le faisceau puissent atteindre le capteur. L'avantage est qu'un échantillon de bonne taille (10 x 5 cm) peut être observé. En revanche, il est difficile de généraliser et d'interpréter les résultats à grande échelle car chaque essence ligneuse est composée des mêmes éléments, mais avec une

[242] GÄRTNER, SCHWEINGRUBER 2013.
[243] Étudiante de master d'A. CRIVELLARO, Padova, Italy.
[244] *Cf.* tableau périodique des éléments.
[245] JONNARD 2012 ; L. JOANNY, communication orale.

quantité légèrement variable selon sa nature et la nature du milieu dans lequel l'arbre a grandi. La composition des vermoulures dépend pleinement de cette composition de départ. À cela s'ajoute l'espèce xylophage concernée qui peut privilégier un élément en particulier pour sa croissance tel que l'amidon ou la cellulose par exemple (PLANCHE 14).

Pour ces premiers résultats, il faut constater que certains taux d'éléments diminuent parfois entre le bois et la vermoulure et vice versa. Pour ce genre de test, le postulat de départ est que la larve ingère et rejette uniquement les éléments présents au préalable au sein de son support nourricier[246]. Dans la plupart des cas présentés, il y a plus d'éléments dans la vermoulure que dans le bois nourricier. Or, il est peu probable que la larve puisse créer seule de nouveaux éléments. En revanche, la larve peut éventuellement avoir la possibilité d'ingérer d'autres contenus que le bois, notamment des champignons qui apporteraient d'autres éléments.

Les mesures du taux d'éléments présents au sein des vermoulures d'*A. punctatum* sur de l'épicéa (PLANCHE 14 a) et sur du thuya (PLANCHE 14 b) pose problème, avec peut-être des erreurs de mesures, ou plutôt un mauvais choix de positionnement des capteurs car les taux semblent inversés. Ou alors, l'autre hypothèse serait que ces taux révèlent une tendance de la larve à rechercher un élément en particulier (ex: magnésium) et de le stocker de manière plus concentrée qu'elle ne l'est au sein du bois, afin d'effectuer son cycle de développement dans de bonnes conditions. On retrouverait ainsi, dans la vermoulure, les restes de ces éléments. Seul le calcium présent sur le thuya disparaît au sein de la vermoulure.

Il s'agit du même principe pour *N. castaneum*, *O. ptilinoides, Trogoxylon* et *Xestobium* (PLANCHE 14 c, d, f et g) : leur vermoulure semble contenir un taux plus élevé de certains éléments, particulièrement le magnésium et le potassium, que dans le bois. À l'inverse, le lycte et le scolyte (PLANCHE 14 e et h) semblent ingérer les divers éléments du bois dont les taux présents diminuent au sein de leurs déjections.

Ce test a été fait uniquement sur quelques bois de la collection de référence, mais pas encore sur les bois archéologiques. Cette méthode est proposée ici en tant que projet qu'il pourrait être intéressant de développer à l'avenir, notamment dans le but de bâtir un référentiel pour mettre en évidence des empreintes chimiques particulières selon l'espèce d'insecte ou de bois. Cette recherche serait à mener conjointement avec d'autres types d'analyses basées sur la chimie du bois[247].

[246] *Cf.* Volume II, Annexe 3, page 67-84 : fiche n°30 à 45.
[247] CAMPBELL, BRYANT 1940.

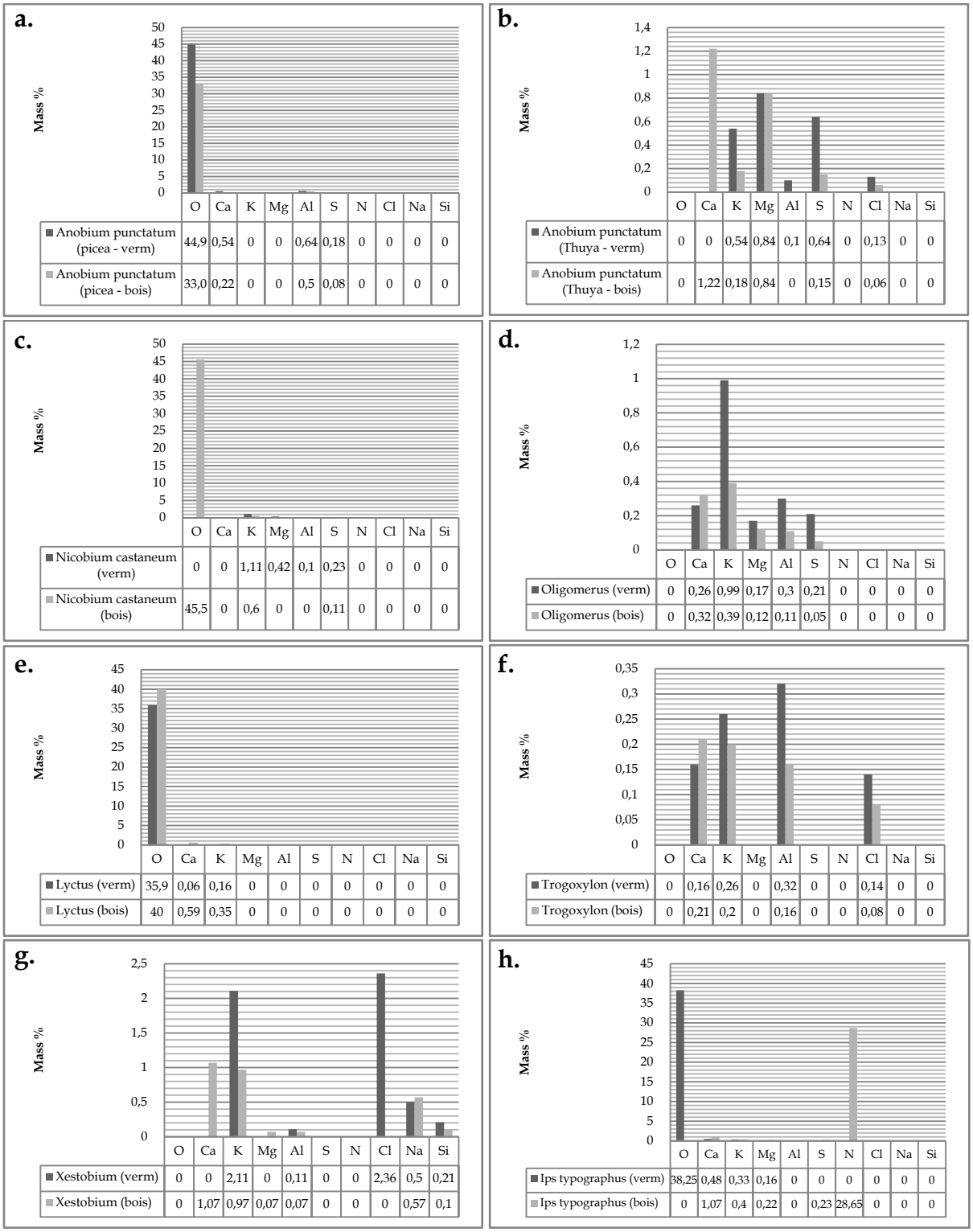


PLANCHE 14 - Mesures EDS des éléments présents dans le bois et dans les vermoulures par espèce, coll. L. JOANNY.

2. Du bois au charbon de bois : une expérimentation

a. Objectifs de l'expérimentation

L'expérimentation du passage du bois au charbon de bois à partir de différentes essences ligneuses et de contextes divers (bois mort, bois ouvragé, objets, bois sur pied...)[248] consiste à observer les effets de la carbonisation sur les traces des insectes xylophages, sur les restes d'insectes, de larves, ainsi que sur les hyphes (ou mycélium*) de champignon lignivore.

En archéologie, la conservation d'éléments d'un insecte adulte (ex : élytres) est possible en milieu humide, mais également après une carbonisation[249]. La présence d'insectes et de champignons lignivores et les déformations anatomiques qu'ils provoquent dans les charbons de bois sont des éléments rarement observés en archéobotanique.

L'objectif de cette expérience est d'observer l'action du feu en particulier sur les traces des insectes xylophages en prenant en compte les variables liées, aux conditions (vitesse de combustion, hygrométrie...), aux essences ligneuses (résineux, feuillus, bois sec, humide...) et aux espèces xylophages (taille, nombre de galerie sur le bois, cambiophage...). L'objectif est de mesurer sur le bois actuel : les galeries (diamètres, formes), les vermoulures (formes, emplacement, mesures) et les élytres d'insectes lorsqu'il y en a. Une fois brûlés, les échantillons sont à nouveau mesurés afin d'observer les éventuelles différences telles que des déformations et des réductions de taille des traces d'insecte.

b. Déroulement des expériences

- Paramètres

Diverses variations expérimentales ont été prises en compte. Tout d'abord, les facteurs liés à l'état originel du bois. Par exemple, chaque expérience peut porter sur un type de bois précis ayant des caractéristiques diverses : bois vert/sur pied, bois mort en forêt, bois stocké en extérieur, bois ouvragé, bois traité. De plus, étant donné que ce sont les attaques des ravageurs qui sont ciblées ici, il est important de pouvoir comparer les résultats d'un même type d'attaque (ex: vrillette) sur des bois différents. Ainsi, l'étude de diverses essences ligneuses infestées par une même espèce permettrait d'observer si l'essence modifie la nature des traces de l'insecte ou non. Ensuite, il est important de prendre en considération les facteurs physico-chimiques et plus particulièrement les facteurs « environnementaux » d'un échantillon : vitesse de la montée en température (pyrolyse), taux d'humidité, taux d'oxygène. Chaque série d'attaques de ravageurs sur les divers types de bois sont ainsi reproduite sous divers contextes. Dans cette perspective, le taux d'humidité (à différents pourcentage) et le milieu aérobie/anaérobie pourraient être modifiés, voire contrôlés pour chaque série.

Après la combustion des pièces de bois, leur analyse en laboratoire aide à (ré)identifier les déformations et les traces des attaques des ravageurs : elles sont observées puis comparées selon les diversités contextuelles. L'analyse anthracologique pour cette expérience se base sur

[248] CHABAL 1999 ; DELHON 2008 ; LUDEMANN 2008 ; THÉRY-PARISOT *ET AL.* 2008 ; CAMPBELL, KENWARD 2012 ; TIPPER 2012.
[249] MORET 1998 ; PONEL 2007.

les méthodes traditionnelles d'observations des divers plans anatomiques du bois au microscope à réflexion et à l'analyse des traces entomologiques via la loupe binoculaire et les observations effectuées au microscope électronique.

- Déroulement

L'expérience a nécessité l'utilisation d'un four à moufle de type Thermolyne type 48000 Furnace[250] (FIGURE 28), avec lequel deux sessions expérimentales ont été menées sur chacun des échantillons[251] :

- Session 1 : « mode oxygène », l'échantillon est mis dans le four à environ 100°C. Pour éviter une pollution du four et que l'échantillon ne s'enflamme, on place une brique au-dessus de celui-ci. Le four monte jusqu'à 375°C, à raison de 30°C par minute. L'échantillon cuit pendant 30 minutes. Le four baisse sa température pendant 15 minutes (jusqu'à environ 200°C). L'échantillon carbonisé est alors retiré puis placé dans du sable à température ambiante (pour éviter à la combustion de reprendre et aux flammes d'intervenir) pendant une trentaine de minutes.

FIGURE 28 - Four à moufle du laboratoire de Rennes 1.

- Session 2 : « mode sans oxygène ou semi-réductrice », l'échantillon est entièrement recouvert de sable dans un plat et mis dans le four à environ 100°C. Le four monte jusqu'à 375°C, à raison de 30°C par minute. L'échantillon cuit pendant 30 minutes. Le four baisse sa température pendant 15 minutes (environ 200°C). L'échantillon carbonisé est alors retiré puis placé dans un autre plat rempli de sable à température ambiante pour éviter que la combustion ne se poursuive pendant une trentaine de minutes.

Au total, 19 expériences ont été menées sur 12 échantillons différents. Certains échantillons suffisamment nombreux ont été séparés en deux groupes afin qu'ils bénéficient des deux types d'expérimentation soit une expérience en mode oxygène (A1) et une en mode semi-réducteur (A2) (TABLEAU 9). Chaque échantillon, qui provient de la collection de référence décrite plus haut, a ainsi été divisé, dans la mesure du possible, en plusieurs fragments de plusieurs centimètres, afin de garder des échantillons témoins non carbonisés.

Échantillon	**AO1**	**FagT1**	**IncT2**	**LaO1**	**PisyO1**	**PopO1**
Nb d'expérience	**2 exp.**	2 exp.	2 exp.	1 exp.	1 exp.	1 exp.
Insecte présent	*A. punctatum*	*O. ptilinoides*	*N. castaneum*	*H. bajulus*	*A. punctatum*	*N. castaneum*
Échantillon	**QO1**	**QO2**	**QO3**	**QT1**	**ResO1**	**TiO1**
Nb d'expérience	2 exp.	1 exp.	1 exp.	2 exp.	2 exp.	2 exp.
Insecte présent	*N. castaneum*	*N. castaneum*	*Lyctus sp.*	*K. flavicollis*	*A. punctatum*	*O. ptilinoides*

TABLEAU 9 - Liste des échantillons carbonisés et nombres d'expériences.

[250] Expériences menées au CReAAH, Campus Beaulieu Rennes 1, avec l'aide de R. MARCH, CR, CNRS, CReAAH, UMR 6566, Rennes 1.

[251] *Cf.* Volume II, Annexe 4, point 1 (fiches de présentation des échantillons : n°46 à 57) et point 2 (fiches de déroulement des expériences : n°58 à 76), page 85-144.

c. Résultats des expériences

- Déformations morphologiques et conservation

D'après les observations effectuées avant et après la carbonisation d'un échantillon, plusieurs déformations sont visibles sur le bois (PLANCHE 15). Outre une réduction importante de l'ensemble, notamment des galeries, on remarque l'apparition de fentes de retrait ou de fissures aux endroits les plus fragiles de l'échantillon. De plus, les extrémités des fragments ont tendance à se recroqueviller.

Hormis la taille, les galeries et les vermoulures ne semblent pas souffrir de déformations conséquentes (PLANCHE 16). La forme générale de la galerie est conservée tout comme la forme des unités de vermoulure. Quelques éléments remarquables sont également préservés par la carbonisation : les coques de nymphose qui sont composées de vermoulure, les nymphes et les larves ou en tout cas leur enveloppe externe (peau et quelques soies).

Les expériences en mode semi-réducteur préservent mieux les échantillons des déformations que lorsque l'oxygène est fortement présent.

- Statistiques et pourcentage de réduction

Les galeries et les vermoulures ont été mesurées avant et après la carbonisation. Dans quelques cas, il a été possible d'émettre une concordance entre les mesures des galeries, car la même galerie a été mesurée. Une telle concordance n'a pas toujours été possible en raison du craquement ou d'apparition de fentes de retrait sur la galerie, faussant ainsi les mesures. De même, le plus d'unités de vermoulure possibles ont été mesurées avant la carbonisation. En revanche, après les expériences, de nouvelles mesures ont été effectuées sur d'autres unités de vermoulure[252]. En effet, il a été impossible d'être certaine de mesurer les mêmes unités après l'expérience (agglomération, déplacement). Ainsi, après plusieurs discussions avec Philippe LANOS[253], il a été jugé plus pertinent de travailler à partir des moyennes des mesures obtenues. Les mesures brutes, les médianes et les projections en analyse à composante principale (ACP) étant moins adaptées et n'aidant pas particulièrement à la clarification du discours, ont été laissées de côté.

Les expériences menées sur les échantillons QO3, QT1, LaO1 et ResO1 (A2) n'ont pas fourni de vermoulures mesurables. Pour QO3, la raison en est tout simplement l'espèce elle-même : le lycte, car cet insecte ne produit pas d'unité particulière mais plutôt de la « fleur de farine »[254]. Pour QT1 (termites), il peut s'agir d'un mauvais choix d'échantillon (problème de localisation de galeries contenant de la vermoulure), car très peu de vermoulures étaient visibles avant la carbonisation et elles se sont perdues ou ont été consumées lors de l'expérience. Pour les unités d'*A. punctatum* sur l'échantillon ResO1 qui a brûlé en contexte semi-réducteur, une agglomération voire la « fonte » de la vermoulure s'est révélée trop importante pour effectuer des mesures. C'est le cas inverse pour l'échantillon LaO1 infesté par le capricorne des maisons (*Hylotrupes bajulus*) : les mesures des unités sur le bois n'ont pas été fiables à cause du tassement trop important de l'ensemble de la vermoulure, tandis qu'une fois carbonisées elles se sont bien détachées les unes des autres.

[252] *Cf.* Volume II, Annexe 4, point 3 (fiche de résultats par échantillon expérimenté : n°77 à 86), page 100.
[253] Directeur de Recherche, hébergé IRAMAT -CRP2A, Université de Rennes 1.
[254] *Cf.* Volume III, page 100-101.

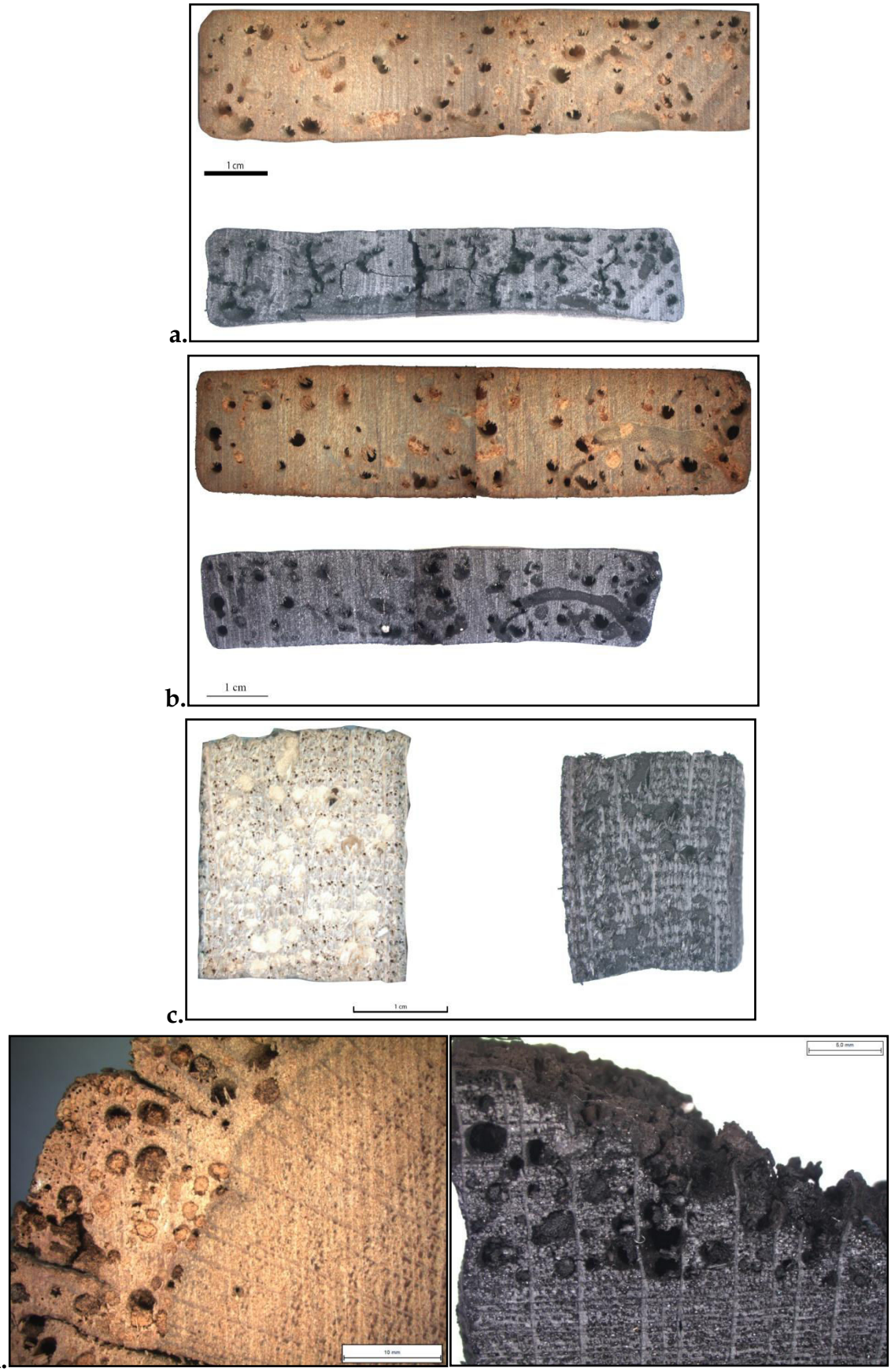


PLANCHE 15 - Vues avant et après carbonisation, des échantillons de bois actuel. **a.** Expérience TIO1 carbonisé en mode oxygène (A1). **b.** Expérience TiO1 carbonisé en mode semi-réducteur (A2). **c.** Expérience QO3 carbonisé en mode oxygène (A1). **d.** Expérience QO1 en mode oxygène (A1).

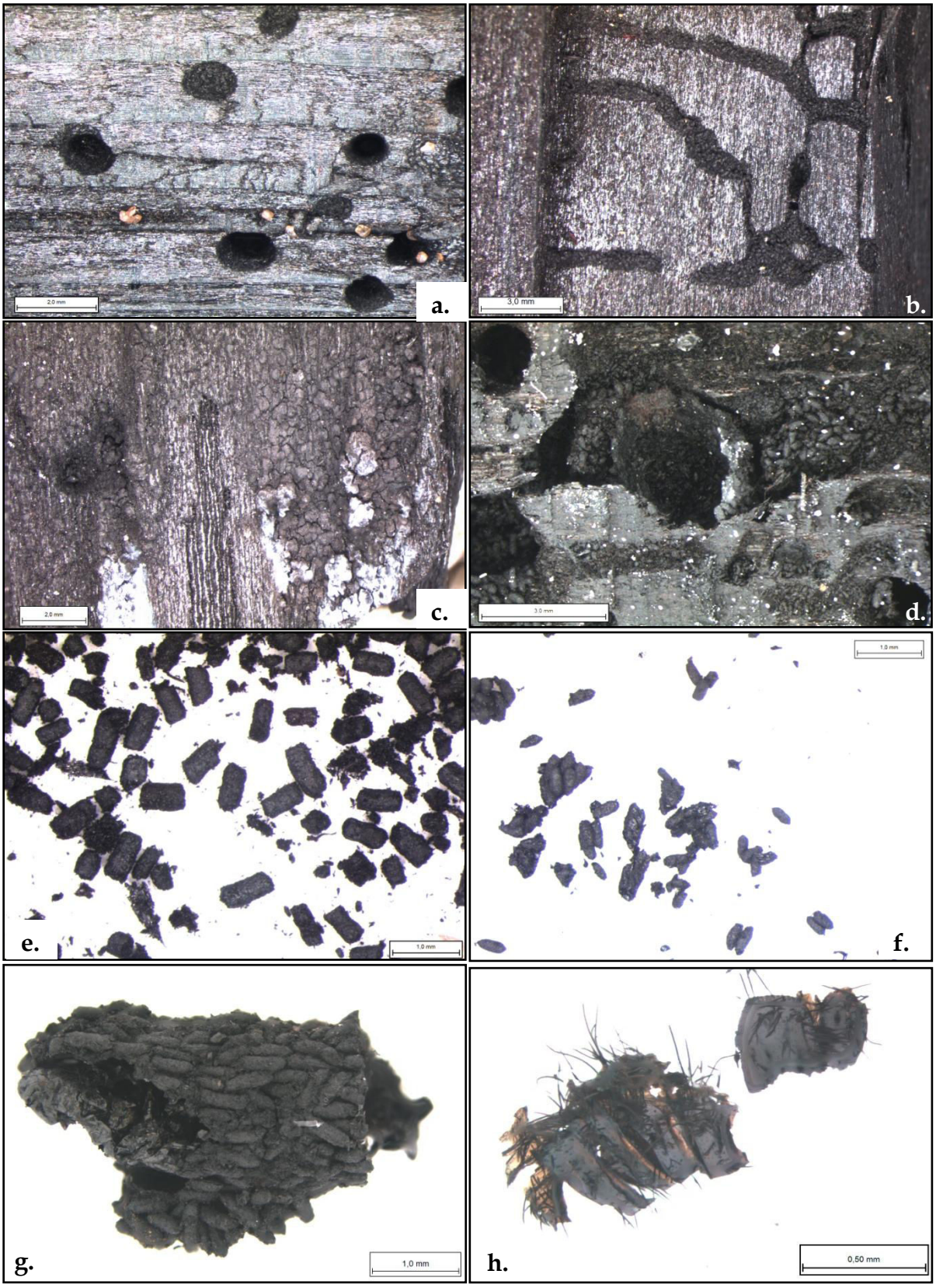


PLANCHE 16 - Résultats des expériences de carbonisation. **a.** Galeries en vue transversale (AO1-A1). **b.** Galeries en vue tangentielle (PisyO1-A1). **c.** Concrétions conservées dans les parois des galeries (QT1-A1). **d.** Vermoulure et coque de nymphose conservées (IncT2-A2). **e.** Unités de vermoulure d'*H. bajulus* (LaO1-A1). **f.** Unités de vermoulure de *N. castaneum* (QO1-A1). **g.** Nymphe de *N. castaneum* et sa coque de nymphose (QO2-A1). **h.** Restes de larve de *N. castaneum* (IncT2-A2).

L'évaluation de la perte de masse du bois après la carbonisation est un thème déjà exploré par plusieurs auteurs[255] et s'élève entre 15 à 20 % de perte. On retrouve cet ordre de grandeur au niveau des expériences. Parfois, la réduction est plus importante, supérieure à 20% de perte ; peut-être est-ce parce que ce sont des échantillons de petits formats (inférieur à 20 cm) ?

Bien que la réduction affecte la taille des unités de vermoulure, elle ne les déforme que très peu : on observe seulement une agglomération des unités entre elles[256]. Il reste au spécialiste à être suffisamment soigneux pour réussir à déloger la vermoulure de sa galerie, sans casser les unités, afin de réaliser des mesures exploitables. Les mesures des unités de vermoulure aident à percevoir la réduction liée à la carbonisation. Et elles ne semblent pas atteindre les vermoulures dans les mêmes proportions. Plus elles sont en surface du bois, plus elles auront tendance à fondre les unes sur les autres et à former des agglomérats de vermoulure et à être déformées, les mesures révélant un pourcentage de perte de masse plus proche, voire dépassant les 20% (en expérience semi-réductrice ou non). De même, les longueurs et largeurs des unités de vermoulures ne subissent pas le même taux de réduction (avec parfois plus de 7% de différence).

Pour les expériences menées sur des échantillons infestés par *Anobium punctatum* on constate que les galeries perdent un peu moins de 10% de leur taille d'origine *(cf.* Expérience AO1*).* En revanche, les vermoulures carbonisées en présence d'oxygène perdent en moyenne 30% de leur taille contre 10 à 18% en mode semi-réducteur (FIGURE 29).

Pour l'espèce *Oligomerus ptilinoides*, les galeries perdent 24% de leur taille originelle en mode sans oxygène contre 28% avec oxygène (*cf.* Expérience TiO1-A1 et A2). Les vermoulures perdent au total entre 10 et 13% de leur volume (FIGURE 30). Ainsi, quel que soit le mode de l'expérience (avec ou sans oxygène), le taux de réduction de taille des vermoulures reste sensiblement similaire.

Enfin, les dernières vermoulures mesurables appartiennent à l'espèce *Nicobium castaneum.* Ses galeries perdent entre 23% de leur taille d'origine sur du peuplier en atmosphère oxygénée, contre 13% sur du chêne (en carbonisation semi-réductrice). Où est l'incidence ? L'essence ligneuse ou le mode de cuisson ? Un peu les deux ? Les vermoulures perdent au total entre 20 et 28% de leur volume (FIGURE 31).

Les graphiques ci-après représentent les dimensions des unités de vermoulure mesurées sur bois avant la carbonisation ainsi qu'un lot de vermoulure provenant du même échantillon mais mesuré après l'expérience. En moyenne, au total, quelle que soit l'espèce d'insecte en jeu, les vermoulures brûlées en présence d'oxygène perdent environ 25% de leur taille d'origine contre 15% si la carbonisation est en mode semi-réductrice.

Dans l'état actuel des mesures et des tests effectués, la mise en place d'un coefficient correcteur à appliquer sur chaque unité de vermoulure archéologique carbonisée mesurée, n'est pas nécessaire. En effet, si les observations au microscope, à la loupe binoculaire et l'enregistrement de la taille des unités sont cumulées, l'espèce de vrillette est aisément déterminable, comme dans le cas des analyses menées sur l'îlot Camelin à Fréjus par

[255] SCHWEINGRÜBER 1978 ; THINON 1992 ; LOREAU 1994 ; THÉRY-PARISOT *ET AL.* 2008 ; DUFRAISSE, MARTINEZ 2011 ; PARADIS-GRENOUILLET 2012.

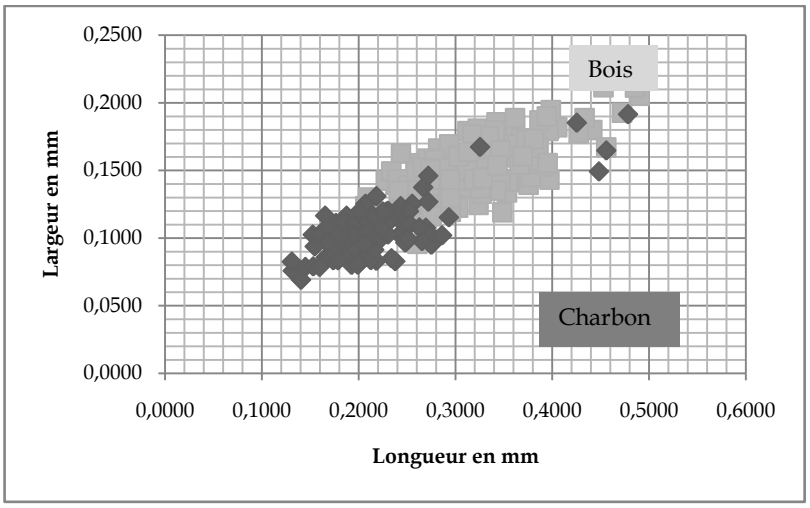
[256] *Cf.* Volume II, Annexe 4, point 4 (planches MEB n°17 à 23), page 136-144.

exemple[257]. Toutefois, ce coefficient pourra être à construire dans le futur en fonction de la difficulté de détermination entre certaines espèces d'une même famille ou sous-famille, en particulier au sein des capricornes, mais aussi parmi les charançons du bois et les scolytes, qui sont pour l'instant déterminable à l'échelon de la sous-famille. Dans ce cas, il sera essentiel de réaliser à nouveau des expérimentations sur de nouveaux échantillons et d'enregistrer des mesures avant et après carbonisation des différentes unités typiques selon la famille. Cette application consisterait à calculer la taille théorique initiale d'une unité avant sa carbonisation, sur la base considérée de 20% de perte à toutes les mesures anthracologiques. Ainsi, la comparaison de ces mesures corrigées avec la base de données sur les bois actuels permettrait peut-être de différencier plusieurs espèces dont les vermoulures sont trop semblables anatomiquement[258].

a.

	Longueur	Largeur
Moy. Bois	0,3248	0,1543
Moy. A1	0,2191	0,1054
Moy. A2	0,2676	0,1376
% réduction A1	**32,55**	**31,70**
% réduction A2	**17,62**	**10,82**

b.



c.

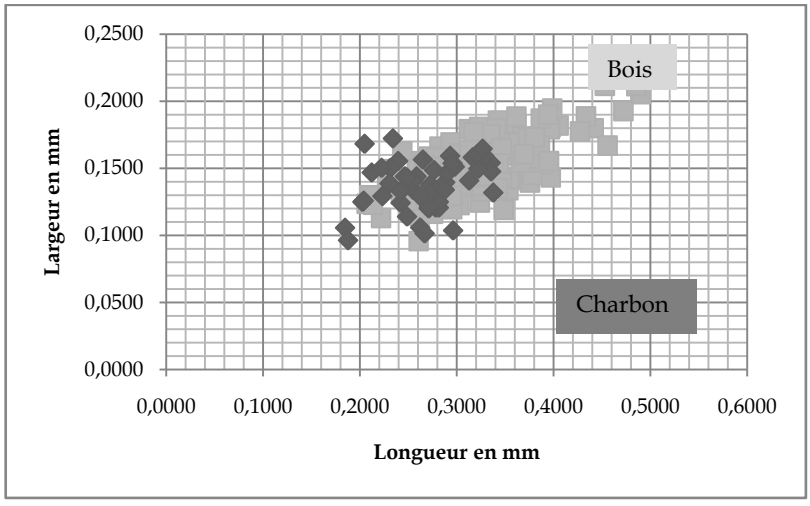


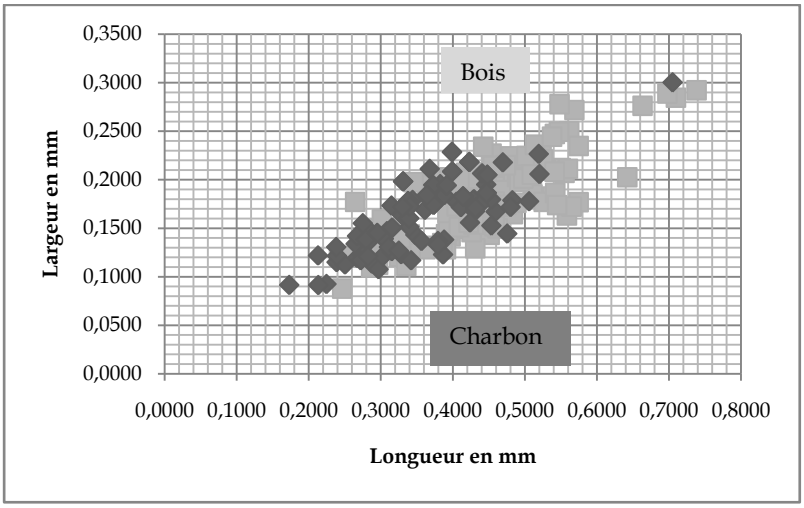
FIGURE 29 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons d'*Anobium punctatum*. **a.** Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1). **c.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A2).

[257] *Cf.* page 330-331.
[258] Ph. LANOS communication orale.

a.

	Longueur	Largeur
Moy. Bois	0,4410	0,1808
Moy. A1	0,3634	0,1644
Moy. A2	0,4003	0,1583
% réduction A1	**17,59**	**9,07**
% réduction A2	**9,22**	**12,42**

b.



c.

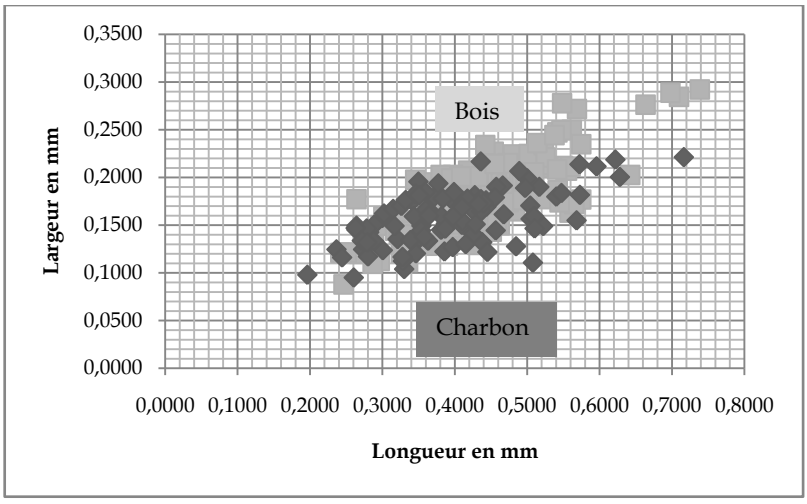
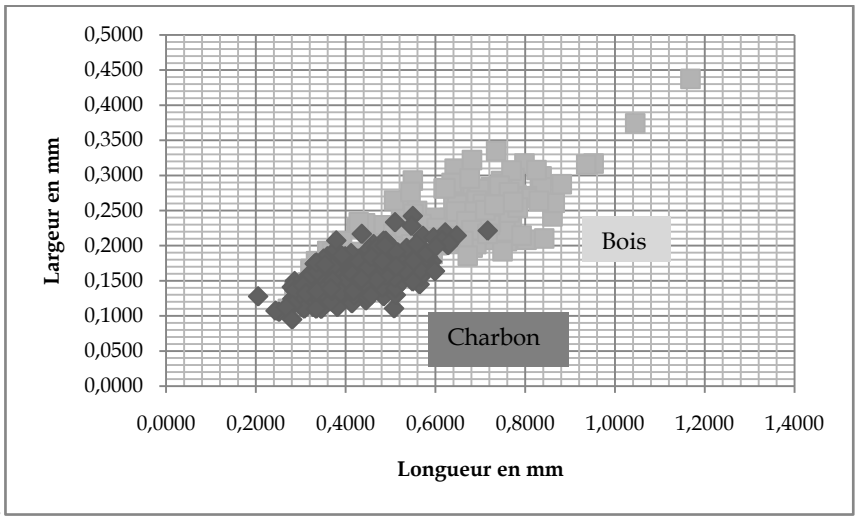


FIGURE 30 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons d'*Oligomerus ptilinoides*. **a.** Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1). **c.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A2).

a.

	Longueur	Largeur
Moy. Bois	0,6022	0,2234
Moy. A1	0,4292	0,1584
Moy. A2	0,4677	0,1787
% réduction A1	**28,73**	**29,09**
% réduction A2	**22,34**	**20,01**

b.



c.

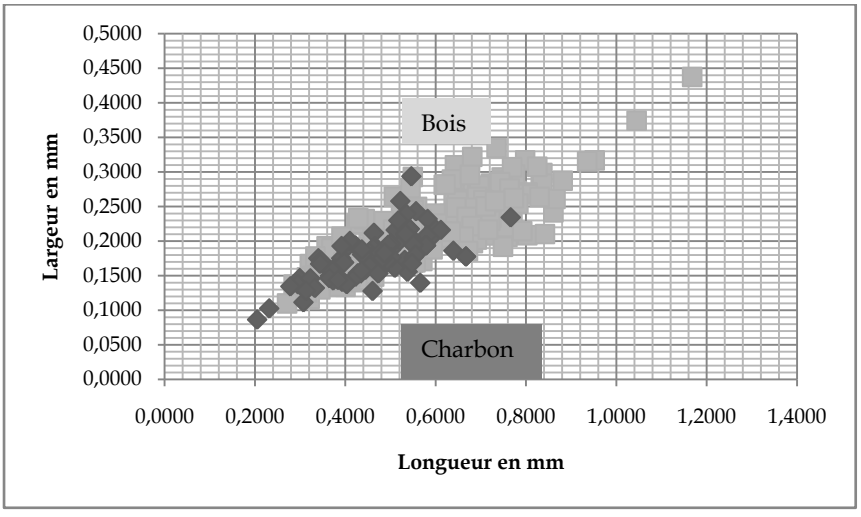


FIGURE 31 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons de *Nicobium castaneum*.
a. Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1).
c. Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées

B. CONSTRUCTION D'UNE CLÉ D'IDENTIFICATION DES TRACES D'INSECTES XYLOPHAGES

La clé d'identification est accompagnée d'un atlas illustrant les diverses familles, genres et espèces d'insectes xylophages. Pour une meilleure lisibilité et maniabilité, la clé de détermination et son atlas sont présentés exclusivement dans un volume à part de ce travail[259].

L'objectif n'est pas de proposer un atlas à la hauteur de ceux de SCHWEINGRÜBER[260], JACQUIOT[261] ou encore VERNET[262], même s'il s'en inspire sur la forme, mais plutôt de disposer d'un outil de travail de référence à portée de main lors de la lecture des analyses entomologiques appliquée à la xylo-anthracologie[263].

Pour rappel, il existe près de 600 espèces d'insectes xylophages actuellement en France, dont une liste est proposée en Annexe 5[264], pour permettre au lecteur de prendre en considération tout le potentiel, la variabilité et par conséquent la complexité d'un tel sujet. Cette liste est à compléter, particulièrement au niveau des informations bio-écologiques des espèces, souvent mal connues. Or dans le cadre d'une thèse en archéologie, il était impossible durant le temps imparti de traiter la totalité de ce corpus théorique. Le choix a été fait de s'intéresser préférentiellement aux individus que l'on rencontre le plus fréquemment sur les bois ouvragés, qui sont des structures le plus souvent mises au jour dans les contextes archéologiques. Cependant, l'impasse sur les espèces de bois frais ne pouvait être faite. Car au fil des analyses des échantillons archéologiques, l'identification de ces types de ravageurs a été attestée, notamment sur les bois gorgés d'eau du site de Rezé Saint-Lupien. Par conséquent, il a semblé nécessaire d'enrichir l'atlas par une présentation et une proposition d'identification d'espèces infestant notamment les bois frais et malades.

Pour l'heure, les champignons lignivores ne figurent pas dans l'atlas. Ces derniers forment une thématique complexe alliant chimie du bois et biologie, qui pourrait bénéficier d'une thèse à part entière sur le sujet, tant les perspectives sont en l'état actuel encore peu exploitées en archéologie[265].

Le projet en perspective est de compléter cette base de données afin qu'elle serve à la communauté des archéologues et des bioarchéologues, mais aussi à une plus grande échelle, vers les milieux patrimoniaux, les musées, le bâtiment, *etc*.

Afin de confectionner au mieux cette clé d'identification, il a été réalisé plus de 800 photographies sous loupe binoculaire ainsi que plus de 700 photographies prises au microscope électronique à balayage (MEB).

[259] *Cf.* Volume III.
[260] SCHWEINGRÜBER 1990.
[261] JACQUIOT *ET AL.* 1973.
[262] VERNET *ET AL.* 2001.
[263] *Cf.* Chapitre IV et V.
[264] *Cf.* Volume II, Annexe 5 : tableau n°10, page 145-158.
[265] BOTTON *ET ALI.* 1990 ; MOSKA-DEL-HOYO 2011.

CONCLUSION

Ce chapitre a présenté d'une part les méthodologies classiques d'étude du bois archéologique et, d'autre part, les nouveaux protocoles d'analyses mis en place pour ce travail. Ce dernier point constitue l'un des apports essentiels de cette thèse et souhaite poser les premières bases de ces nouvelles caractéristiques d'observation.

De nouvelles pistes d'interprétations sont maintenant possibles : une meilleure compréhension d'une structure carbonisée et de son état sanitaire (bois sain ou non) ainsi que des conséquences sur les qualités mécaniques propres du bois (résistance, faiblesse), mais également des propositions concernant la durée minimale de l'infestation, la période de stockage ou de réemploi et la possibilité de localiser le point de départ de l'attaque. À terme, ces données acquises, selon les cas, pourraient révéler des indices sanitaires pour l'ensemble d'une structure, d'un site archéologique, voire fournir des indications paléoenvironnementales sur la santé de la forêt.

Toutefois, cette méthodologie reste chronophage, en particulier lors de la phase de repérage et de mesures des traces d'insectes, et demande également des normes rigoureuses de conditionnement (bois gorgé d'eau) ainsi qu'une grande capacité de stockage des échantillons résultant du contexte archéologique (aménagement de berge, habitat incendié...) ce qui peut poser un problème logistique important selon l'opération archéologique et ses moyens de gestion.

D'autres techniques seront certainement à développer lors de prochains travaux ou dans le but de s'adapter à un contexte archéologique particulier. Or, en l'état actuel, il a été constaté à plusieurs reprises au cours des différentes études de cas, que si la méthodologie précédemment décrite n'est pas strictement appliquée, l'interprétation entomologique s'en ressent, voire n'est pas envisageable.

De plus, il faut souligner que l'univers des insectes est déjà très complexe pour des analyses portant sur l'actuel, et se révèle donc particulièrement ardue dès qu'il s'agit de périodes anciennes : absence d'élytre, détérioration des traces (fusion des vermoulures lors de la carbonisation, gonflements liés à l'eau...). Pour rappel, il existe actuellement différents types de détection des insectes xylophages autre que les vermoulures : taux d'oxygène, machine ATAX, galeries[266]. Or, compte tenu de la diversité des espèces, leur adaptabilité et surtout de la méconnaissance de leurs mœurs et de leur bio-écologie[267], il est important de garder à l'esprit que de très nombreux paramètres sont à prendre en compte[268]. Les altérations au cours du temps sont possibles et peuvent ainsi déformer ou interdire un résultat. La méthode d'observation se doit donc d'être rigoureuse au risque de donner de mauvaises interprétations. Le danger principal est de sur-interpréter les données. Ces risques sont d'autant plus importants dans le cadre d'un contexte archéologique en raison de la vision naturellement biaisée de l'archéologue et qui s'accentue de mal en pis en fonction de la qualité des prélèvements, de la nature du sol (trop acide par exemple), *etc*.

[266] *Cf.* Chapitre I, pages 72 ; HEDGES 2012.
[267] NAGELEISEN, BOUGET 2009.
[268] *Cf.* Chapitre I.

Les résultats des études de cas effectués pour ce doctorat (Chapitre IV et V) mettent en évidence toute l'importance d'un échantillonnage précis sur le terrain, d'une analyse en laboratoire minutieuse bien que chronophage et d'un conditionnement individuel par échantillon observé. Par conséquent, ces résultats sont à utiliser avec une bonne connaissance de l'actualité de la recherche entomologique et restera à compléter[269].

[269] *Cf.* Volume III ; *Cf.* Synthèse générale.

- CHAPITRE III -

LES SITES ARCHÉOLOGIQUES ÉTUDIÉS : UN CORPUS HÉTÉROGÈNE

INTRODUCTION

Avant d'aborder l'étude proprement dite des bois ouvragés pour eux-mêmes, il convient de présenter les sites archéologiques d'où est issu le mobilier ligneux étudié. Au sein de chaque site, il est également nécessaire de mieux contextualiser en décrivant objets et structures, notamment celles d'où sont issus les prélèvements de bois et de charbon de bois. Cette restitution du lien organique entre la matière étudiée et son lieu de provenance est indispensable à l'archéologue comme à l'anthracologue-xylologue pour mieux comprendre et interpréter les données anthracologiques, xylologiques et entomologiques acquises qui sont exposées et détaillées dans les deux chapitres suivants.

L'objectif, ici, est de présenter le corpus de la thèse et de le discuter. En effet, il s'agit d'un corpus hétérogène sur plusieurs plans : disparité géographique et maîtrise des prélèvements variable selon le contexte induisant une diversité des données de terrain et de laboratoire.

Tout d'abord, d'un point de vue biogéographique, les sites sont répartis dans toute la France avec deux foyers principaux : un dans le Sud et un dans le Grand-Ouest. Leur sélection découle d'une part, du cadre chronologique fixé pour ce travail et de la présence avérée de bois archéologique, carbonisé ou non, et d'autre part de l'intégration des problématiques au sein d'un programme de fouille et/ou de post-fouille. Le déroulement des investigations sur des sites du Sud tels que l'îlot Camelin, les Poiriers et le col d'Adon, ainsi que le site de Barzan (17) résultent de recherches et de travaux initiés dès les premières années de formation ou lors de contrats de travail. Pour la région Armorique et tous les autres sites étudiés, leur étude s'est imposée par l'intégration dans une institution de la même région géographique, créant ainsi des liens avec de nouvelles équipes.

Outre les différences déjà soulignées, la diversité du type de matériel étudié constitue un autre facteur d'hétérogénéité du corpus : objets, bois d'œuvre, bois gorgé d'eau et charbons de bois. La disponibilité des données de fouilles et l'accès aux objets eux-mêmes, surtout pour les fouilles anciennes, constitue une difficulté supplémentaire qui accentue encore cette disparité des informations réunies.

C'est pourquoi ce corpus présente une qualité d'information variable d'une étude à l'autre en fonction de tous les paramètres qui viennent d'être présentés (qualité des prélèvements, accès aux données des opérations...). Cet état de fait ne remet pas en cause les observations et les résultats obtenus (*cf.* Chapitre IV et V), mais il interdit dans certains cas d'approfondir et d'affiner leur l'interprétation en raison de la qualité variable des données obtenues dépendantes des conditions initiales d'étude.

Logiquement, le choix a été fait de construire ce dossier en quatre parties distinctes en fonction du niveau de maîtrise des prélèvements sur le terrain, ces derniers influant grandement sur la représentativité et la quantité (qualité ?) des résultats. Les éventuelles adaptations méthodologiques, par rapport à ce qui a été défini dans le chapitre précédent, sont signalées au fur et à mesure de la présentation des sites. Ainsi, la première partie propose de détailler et de présenter les sites archéologiques qui ont été personnellement fouillés, prélevés et étudiés via la xylo-anthracologie et l'entomologie. La deuxième partie est consacrée aux sites archéologiques dont les études anthracologiques et entomologiques ont été réalisées, mais sans la maîtrise des prélèvements. La troisième partie concerne les sites

examinés exclusivement sous l'angle de l'entomologie appliquée à l'anthracologie, à la suite de prélèvements et d'analyses effectués par d'autres spécialistes. La quatrième et dernière partie présente les collections, souvent anciennes, de musées et d'institutions de restauration telles qu'Arc'Antique ou du Musée Dobrée. Dans chaque partie, les sites sont présentés par ordre chronologique.

I. Les études anthracologiques et xylologiques étudiés avec maîtrise des prélèvements

A. La fouille préventive de l'îlot Camelin, Fréjus, Var (27 av. - 50 apr. J.-C.)

1. Présentation du site

La fouille préventive de l'îlot Camelin, réalisée par le service Archéologie et Patrimoine de la ville de Fréjus, s'est déroulée durant l'année 2013[270]. Elle a concerné près de 2000 m², localisés entre la butte Saint-Antoine au sud-ouest et la place Formigé au nord-est, c'est-à-dire sur le flanc sud-ouest de la butte naturelle sur laquelle la ville actuelle est installée. Ce quartier s'organise selon le plus ancien réseau urbain connu et défini par L. Rivet comme le réseau A[271] (Figure 32).

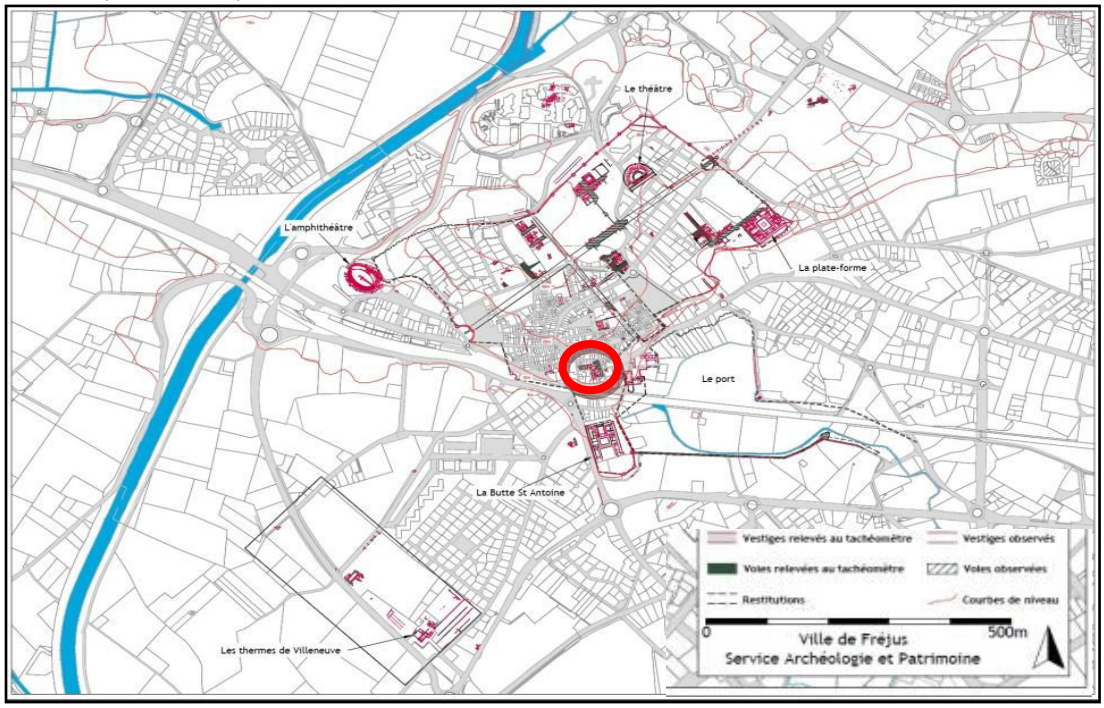


Figure 32 - Plan général de Fréjus avec implantation de la ville antique et localisation de l'îlot Camelin (SAPVF).

L'implantation du site se situe sur le flanc sud-ouest d'une colline appartenant au massif du Mitan. L'occupation humaine s'est établie sur le *substratum* composé de grès brun avec quelques petites inclusions couleur vin et de fines grappes d'argiles vertes indurées en surface. Sur l'emprise du site, le pendage naturel du substratum d'axe nord-sud et est-ouest (Figure 33). Cette topographie en pente a contraint l'occupation antique à aménager le terrain par un système de plateformes appuyées contre des murs de terrasses d'axe nord-sud et d'axe est-ouest[272].

[270] Rapport en cours de rédaction : Excoffon (dir.).
[271] Rivet *et al.* 2000.
[272] Excoffon *et al.* 2013.

La végétation actuelle aux abords de la ville de Fréjus est typiquement Méditerranéenne. Elle se compose d'une part, de pinèdes (pin pignon, maritime et pin d'Alep), de zones plus ouvertes de garrigue (bruyère, thym, romarin...). Légèrement en retrait de la ville actuelle se trouve le fleuve de l'Argens, où se développent diverses essences feuillues préférant l'humidité telles que du frêne ou du peuplier. Dans l'arrière pays, en direction du Haut-Var et du pied des Alpes (Draguignan, Figanières, Mons...), une chênaie constituée de chênes verts, lièges et de quelques chênes à feuillage caduc gagne du terrain face aux pinèdes.

La ville antique, possédant un port, était positionnée en bord de mer qui a aujourd'hui reculée de quelques centaines de mètres.

FIGURE 33 - Vue aérienne à basse altitude de la fouille de l'îlot Camelin (©vues-aeriennes.com/SAPVF).

La fouille a dégagé la largeur complète d'une *insula,* soit 34,23 m, et les deux voies cardines qui la bordent.

La zone 1, à l'ouest du chantier, se rapporte à l'espace dédié à la voirie antique. Elle est partagée en trois secteurs. Ces derniers correspondent à la rue ainsi que les portiques qui l'encadrent de part et d'autre. La zone 2 se situe à l'ouest du chantier. Il s'agit d'un îlot pour lequel la documentation demeure assez lacunaire. Cet espace a été très perturbé par l'installation de caves modernes.

La zone 3 correspond à un îlot d'habitations, délimité à l'est et à l'ouest par les rues (zones 1 et 4). L'ensemble de l'îlot antique a été découpé lors de la fouille, en plusieurs secteurs qui se distinguent par leur fonction : habitation, espace artisanal, espaces ouverts, niveaux de circulation.

La zone 4, à l'est, correspond à l'espace dédié à la voirie antique, encadrant les habitations de l'îlot avec la rue de la zone 1. Sa largeur totale n'est pas connue à cause de sa localisation en limite de fouille. Comme pour la zone 1, la voierie comprend ici une rue observée sur une longueur de 31 m, et un portique mesurant environ 4,50 m de large (FIGURE 34).

Les vestiges mis au jour lors de la fouille couvrent plus de quatre siècles d'occupation entre la fin du Ier s. av. J.-C. et le IVe s. apr. J.-C. (FIGURE 35**FIGURE 35**). La phase 1, assez lacunaire, correspond aux premiers niveaux d'occupation du site, à dater de la période augustéenne voire pré-augustéenne. Les premiers niveaux d'occupation du site sont définis par des bâtiments marqués par les restes de murs de moellons en grès liés à la terre. Outre cet ensemble bâti, dont le plan reste en cours d'étude, au moins une activité artisanale, un possible espace d'habitat et un ensemble d'aménagements lié à l'évacuation des eaux (fosses et caniveaux) ont été mis au jour (FIGURE 35 a et b). Lors de la phase 2, début du Ier siècle apr. J.-C., de grands travaux d'aménagement sont effectués et l'îlot prend forme. Dans les rues, les portiques sont créés ainsi que deux égouts collecteurs. L'ensemble des murs qui structuraient les premiers habitats disparaît et une activité artisanale liée à la forge se met en place. Si une partie des analyses des données de fouille est toujours en cours à l'heure actuelle, l'interprétation de l'organisation de l'*insula* restitue au moins deux *domus* édifiées

dans le courant de la première moitié du Ier s. apr. J.-C., et occupées jusqu'à la fin du Ier s. (FIGURE 35 c et d). Cette phase correspond au développement de la ville selon le premier réseau urbain connu (réseau A), organisé et régulier, constitué de rues et d'*insulae*. Les récupérations des matériaux de construction à partir du VIe siècle et ainsi que de la quasi totalité des structures bâties composant la maison 2 rendent difficile sa restitution. La maison 1, située à l'ouest, possède quant à elle des structures et des niveaux mieux conservés. La fin de cette phase est marquée par un incendie (phase 2b) qui s'est étendu sur une grande partie au moins de l'*insula*. C'est ce qui explique la conservation partielle de ces niveaux d'occupation et ainsi de plusieurs structures en bois[273].

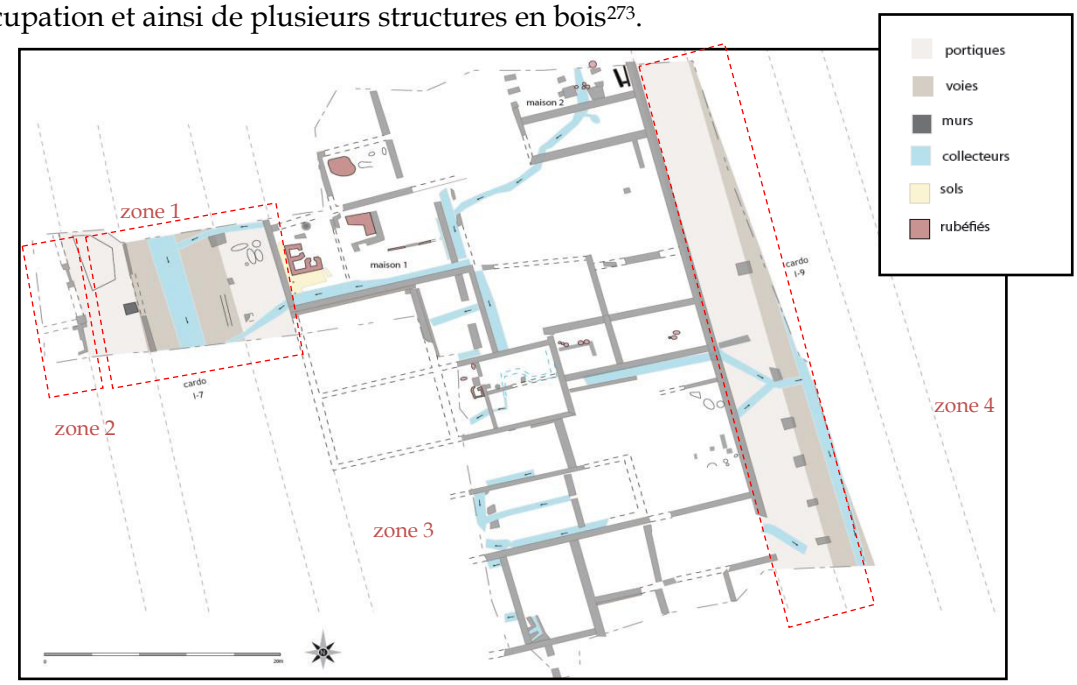


FIGURE 34 - Relevé de l'îlot Camelin et localisation des zones de fouille (DAO F. OSENDA, SAPVF).

La phase 3, allant de la fin du Ier siècle jusqu'au IIIe siècle apr. J.-C., correspond à la reconstruction des secteurs concernés par l'incendie ainsi qu'aux réaménagements, puis l'abandon des maisons (FIGURE 35 e et f). La maison 1 présente alors des sols en béton décorés différemment selon les pièces d'habitation par des inclusions de marbres et de galets (FIGURE 36).

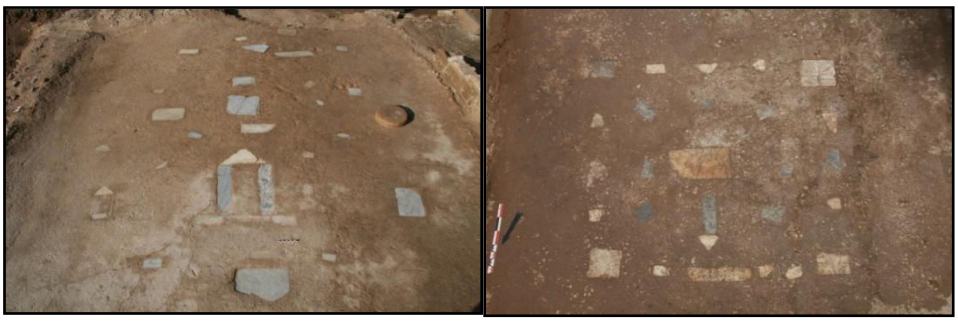
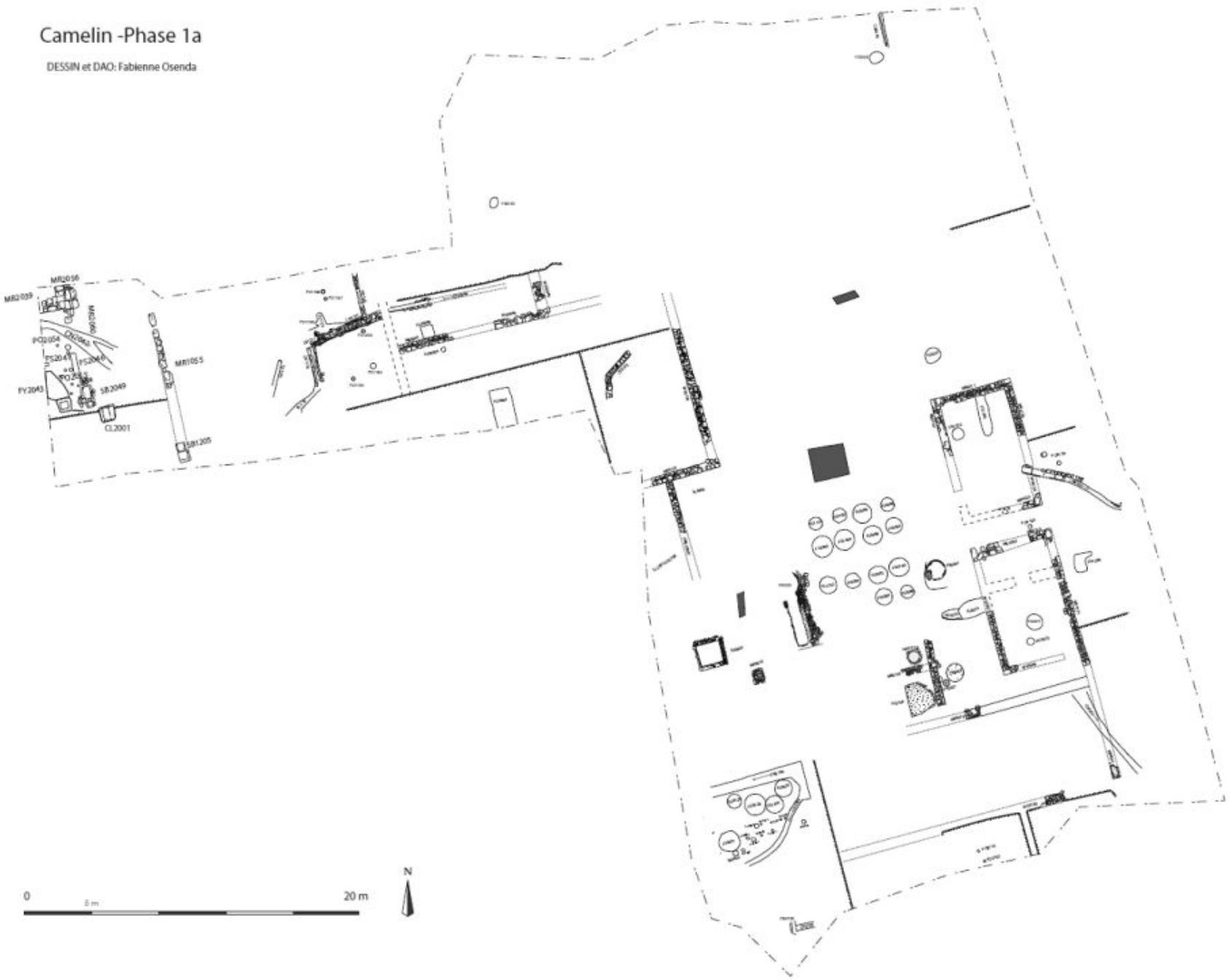


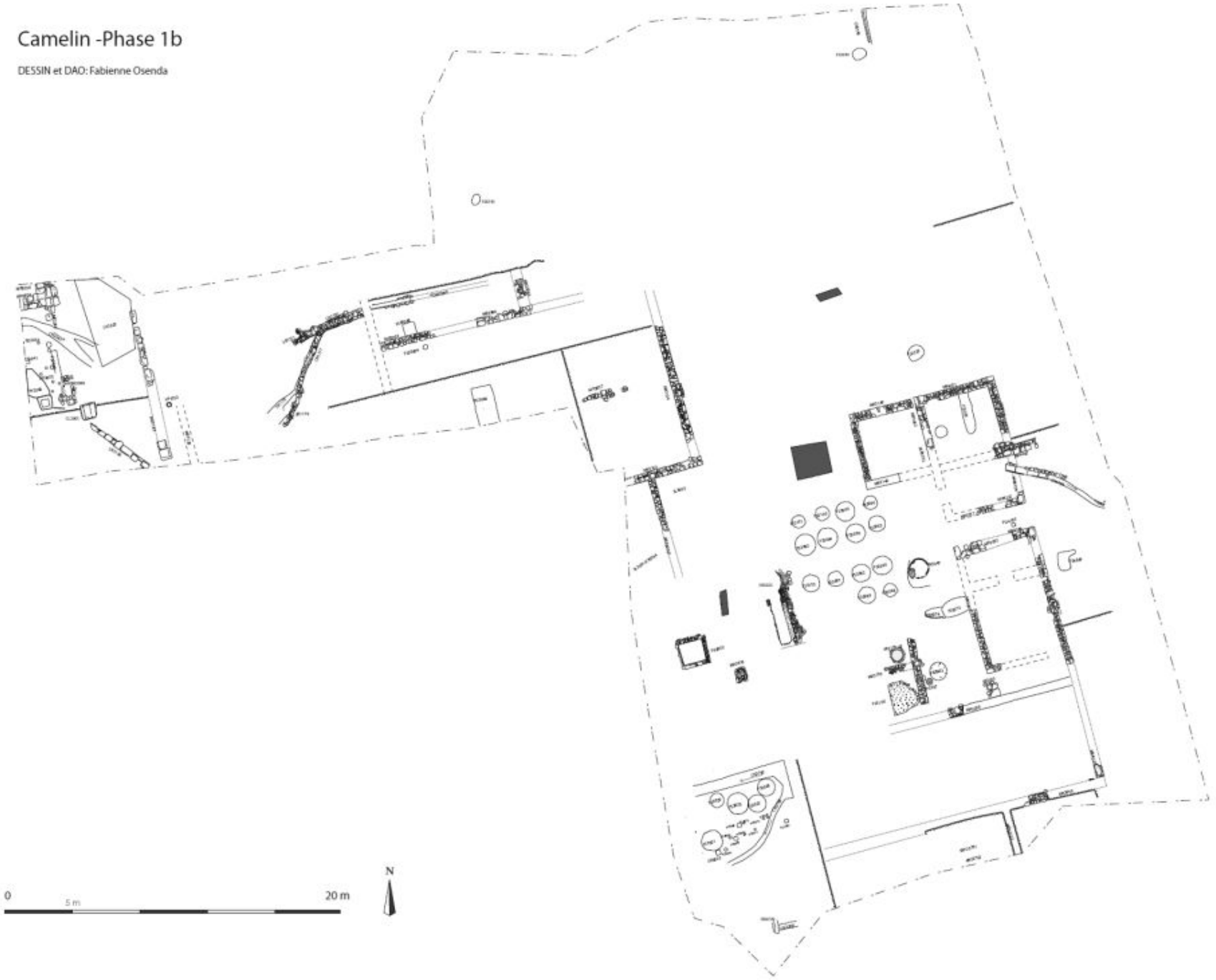
FIGURE 36 - Exemples de sols avec inclusions de marbre mis au jour dans la maison 1 (phase 3) (SAPVF).

La phase 4, très lacunaire, correspond aux traces de l'Antiquité tardive datées des IVe et Ve s. (FIGURE 35 g et h).

[273]EXCOFFON *ET AL.* 2015 ; EXCOFFON, VAUXION 2016 ; EXCOFFON *ET ALI.* 2016 ; EXCOFFON, GAUCHER 2017 ; EXCOFFON, LEMOINE 2017.


Camelin -Phase 1a
DESSIN et DAO: Fabienne Osenda
MR2039
MR2056
MR2060
PO2054
PS2047
PS2048
PO2053
FY2043
SB2049
CL2001
MR1055
SB1205
0
5 m
20 m
N

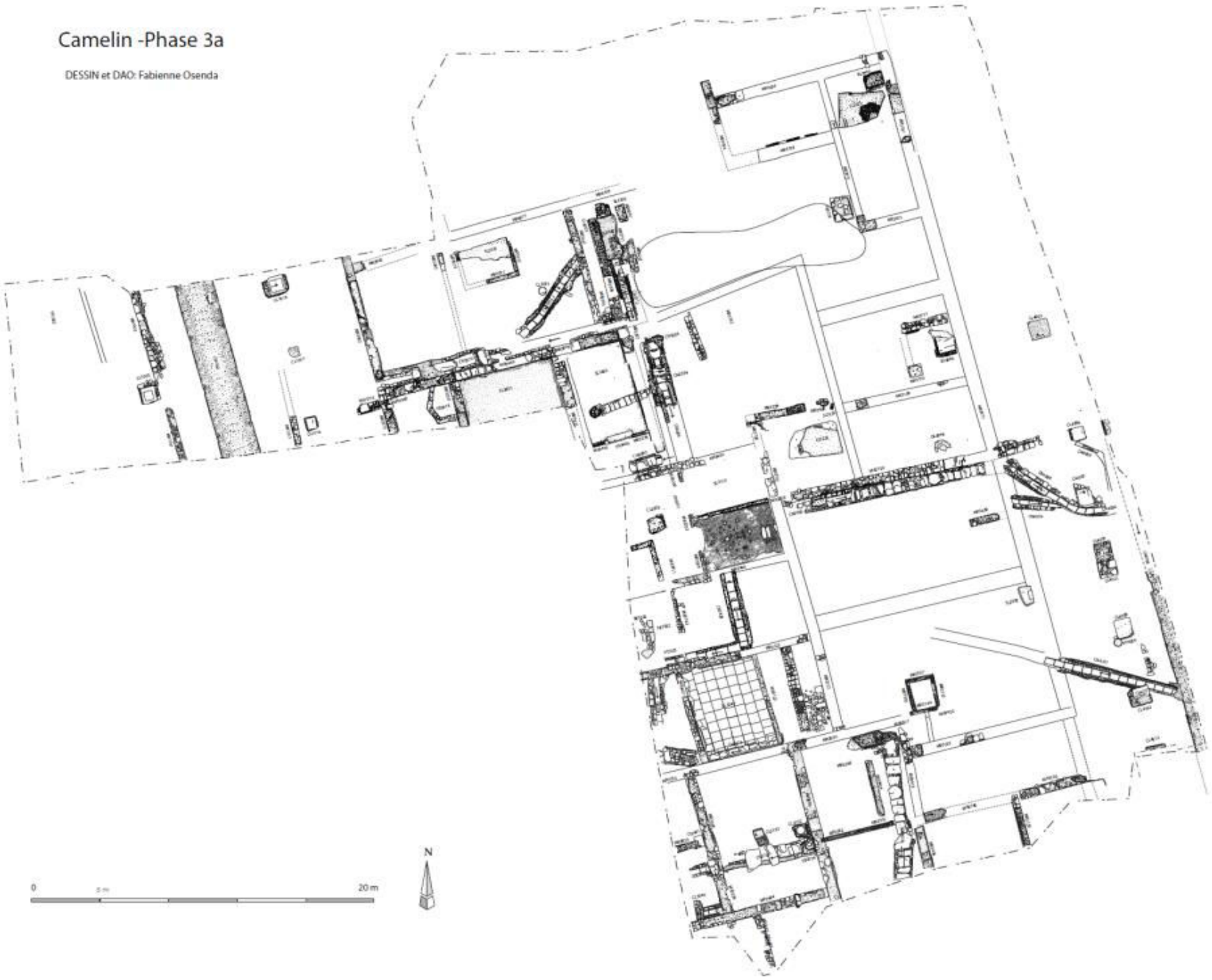
a.



b.

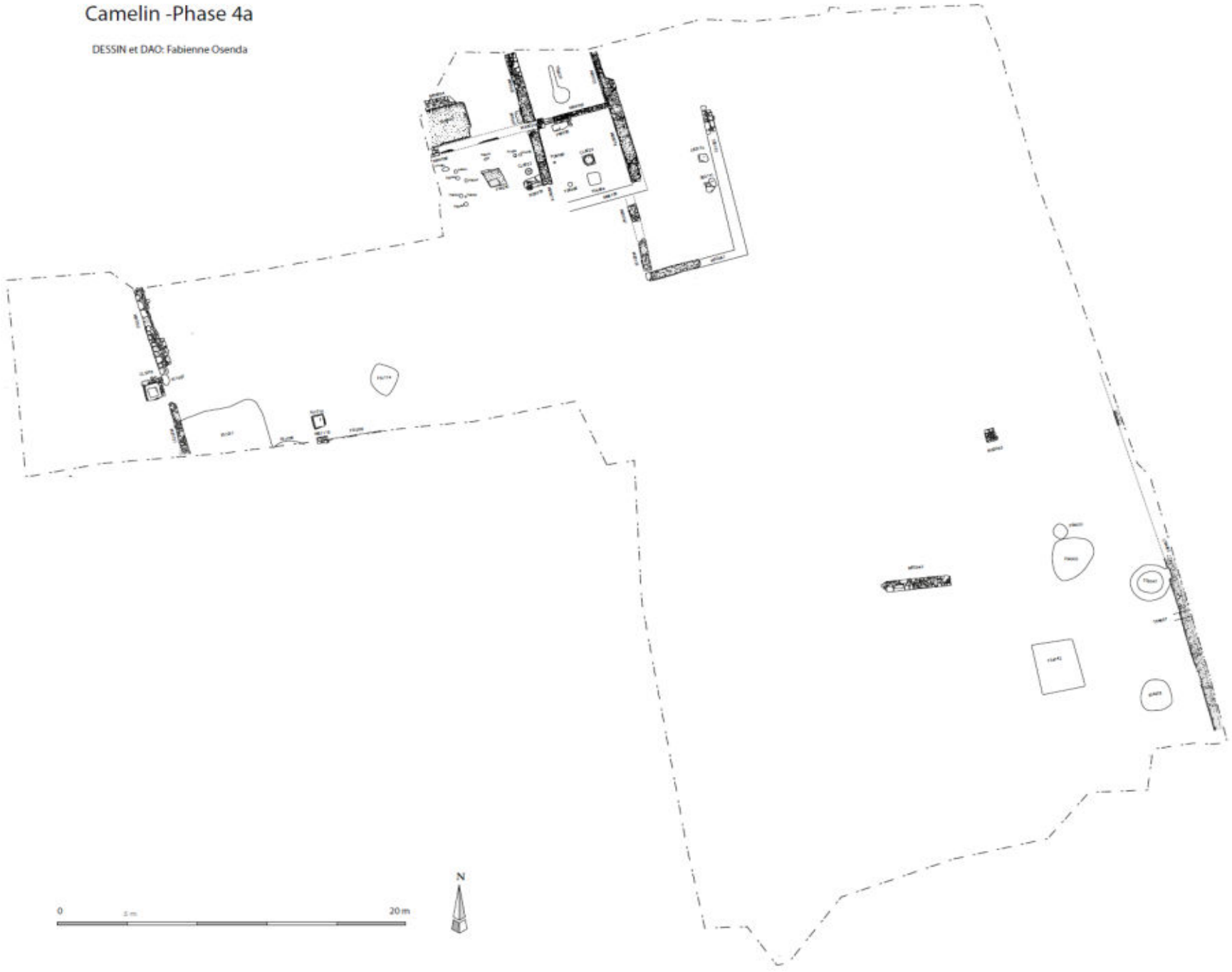
c.

d.



e.

f.



g.

h.

FIGURE 35 - Plans phasés de l'îlot Camelin (a à h) avec relevé des structures découvertes (SAPVF).

2. Contexte de l'étude anthracologique

C'est lors du diagnostic de la parcelle en 2012[274], que d'importantes zones rubéfiées et incendiées ont été identifiées. La fouille se devait alors d'être conduite conjointement avec un spécialiste afin de réaliser sur place les prélèvements et les mises en conditionnement nécessaires durant les huit mois d'investigation.

Ce travail de terrain a été réalisé dans le cadre d'un contrat de travail antérieur au doctorat. L'opportunité d'avoir pu procéder librement à l'ensemble des prélèvements anthracologiques, mais aussi à des échantillonnages à destination d'autres disciplines et spécialistes (carpologie[275], tissus carbonisés[276]) a été un atout[277]. De plus, les traces d'incendies ont laissé derrière elles de nombreux vestiges carbonisés exploitables pour la thèse : planchers, poutres, parois en briques de terre crue avec poteaux effondrés, niveaux de circulation, fours, fosses à fonction artisanal et foyers. Les méthodologies de prélèvement et d'analyses des traces d'insectes xylophages, initiées sur le site du col d'Adon (*cf. infra*), voit ici une application et une adaptation spécifique pour le domaine de l'archéologie préventive. Les analyses traitent 13 structures en bois carbonisé différentes (plancher, paroi...) correspondant à plus de 4000 charbons, mais aussi de trois fours ou structures artisanales faisant de ce site le plus important et le plus conséquent en matière de données récoltées pour ce dossier.

Ainsi, les analyses s'intègrent au sein de problématiques distinctes. Lors de la mission préventive, l'anthracologie s'intéressait d'une part, aux éléments architecturaux afin de connaître le type d'ouvrage, les essences et les éventuelles provenances et d'autre part aux structures domestiques et artisanales, dans le but de leur attribuer des fonctions, dans la mesure du possible. L'ensemble est comparé à d'autres structures mises au jour sur la ville de *Forum Iulii*, tels que le site de l'école des Poiriers, également présenté dans ce travail. Ce n'est que dans un second temps, au moment de l'analyse préliminaire ainsi que plusieurs vérifications lors du doctorat[278], que l'aspect entomologique sur ces charbons de bois est intervenu, incluant ainsi la perspective de la connaissance de l'état sanitaire des différentes structures ouvrées mais également celui des combustibles utilisés dans l'artisanat.

L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques relatifs à l'état sanitaire des bois ouvragés, issus principalement de la phase 2 d'occupation, sont présentés dans le chapitre IV[279], tandis que les données concernant les tests d'évaluation de l'état sanitaire des combustibles des structures artisanales et domestiques (fours, foyers) sont détaillées dans le chapitre V[280].

---

[274] EXCOFFON, CORDONNIER 2012, 188-189.
[275] Étude sous contrat effectuée par Margaux TILLIER (docteure en archéologie, LabEx ArcHiMedE - CNRS).
[276] Étude sous contrat effectuée par Fabienne MÉDARD (Docteur en archéologie, spécialiste des textiles anciens, ANATEX).
[277] Méthode de prélèvement détaillée chapitre II, page 81.
[278] Il s'agit en particulier de vérifications prenant effet après une avancée importante de la clé d'identification, notamment concernant l'attestation du genre *Oligomerus*, *cf.* page 334.
[279] *Cf.* pages 323.
[280] *Cf.* pages 412.

B. Le site portuaire de Saint-Lupien, Rezé, Loire Atlantique (Ier-IIIe siècle apr. J.-C.)

1. Présentation du site

a. Localisation et contextes naturels

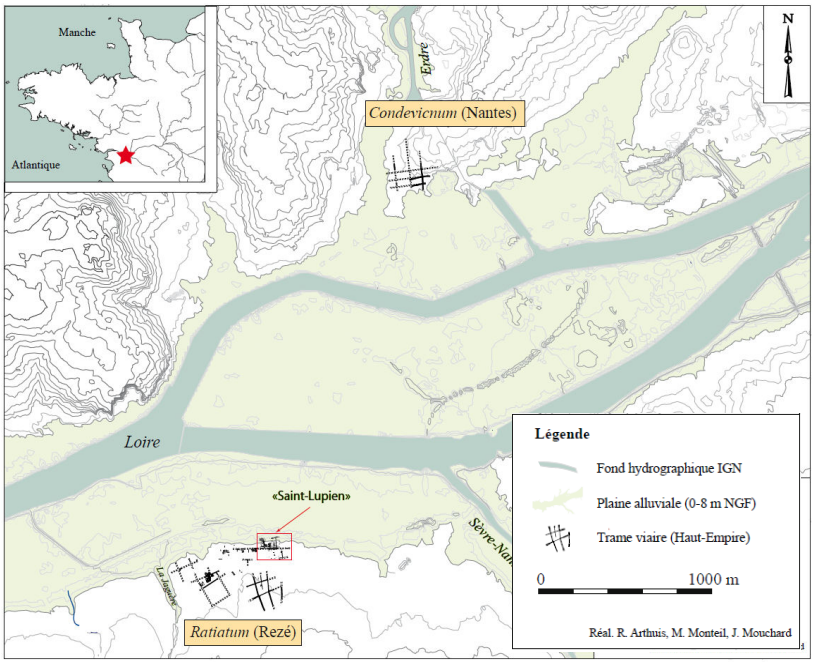


Figure 37 - Localisation de l'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique) dans l'estuaire de la Loire (réal. R. Arthuis, M. Monteil et J. Mouchard), tirée de Guitton *et al.* 2016.

La ville antique, fondée *ex-nihilo*, de *Ratiatum* s'étend en partie sous l'actuelle commune de Rezé (Loire-Atlantique)[281]. Elle est située en fond d'estuaire, un peu en aval de Nantes et sur la rive gauche de la Loire (Figure 37). L'agglomération qui s'y développe de l'époque augustéenne à nos jours, occupe un coteau de faible altitude, accusant un pendage assez prononcé vers l'ancien cours de la Loire[282].

Dans ce secteur, le fleuve s'écoule aujourd'hui dans un chenal unique qui tend à se resserrer en raison des contraintes géologiques imposées au nord par le « Sillon de Bretagne ». Elle reçoit plusieurs affluents : le ruisseau de la *Jaguère* et la *Sèvre* nantaise côté sud, l'*Erdre* côté nord (Figure 38).

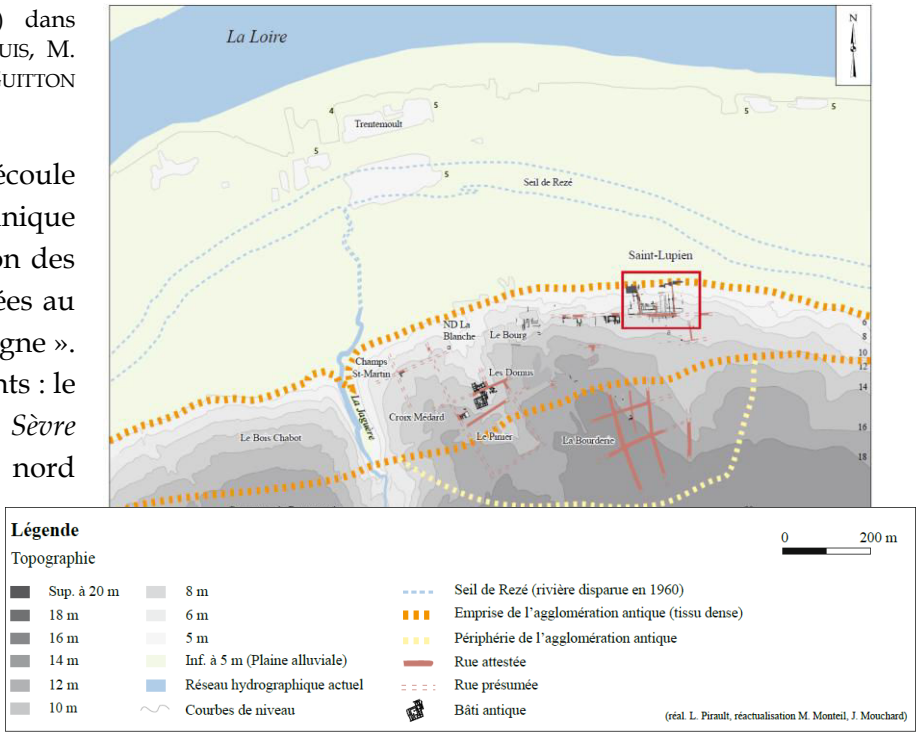


Figure 38 - Plan général de l'agglomération de Rezé dans le courant du IIe s. de notre ère, avec la localisation du quartier St-Lupien (réal. L. Pirault, M. Monteil, réactualisation J. Mouchard), tirée de Guitton *et al.* 2016.

[281] Une partie du site se situe aussi sur la frange orientale de la commune de Bouguenais.
[282] Guitton *et al.* 2016a et b.

Durant l'Antiquité, le quartier - bâti en terrasse et tourné vers le fleuve - s'implantait, pour les vestiges les plus septentrionaux, à 520 m de la rive droite actuelle de la Loire en s'adaptant aux reliefs et situé sur un carrefour routier et fluvial en fond d'estuaire. Sur le plan géologique, le socle rocheux est constitué de schistes, micaschistes et de gneiss, recouverts par des argiles d'altération ou des limons. En bas de pente et au contact de l'ancienne rive de la Loire, des dépôts alluvionnaires sont également attestés. Une pente assez prononcée entre la partie sud et la partie nord, qui passe de 9,10 m à 4,50 m sur une distance d'environ 73 m, a été restituée. Ce contexte topographique singulier a eu des incidences sur l'occupation de cette rive du fleuve. En effet, l'éloignement du chenal principal, et donc l'absence de courants violents, constituaient un avantage indéniable pour la mise en place d'une zone portuaire avec un marnage[283] et un accostage en période de hautes eaux ou de crues possibles. À l'inverse, cette zone portuaire risquait d'être plus facilement ensablée pour peu que la charge transportée par le fleuve augmente[284].

La végétation actuelle est soumise au climat tempéré océanique offert par la situation géographique du site, proche de l'océan Atlantique, mais également par l'estuaire de la Loire et son faible relief. Pour la période antique, des travaux palynologiques[285] sont en cours et aident à l'esquisse d'un panorama de végétation. Les premiers résultats indiquent plusieurs phases : tout d'abord lors du subaltlantique (2700 - 0 BP), dont font partie les premières phases d'occupation de Rezé, la végétation est largement dominée par la chênaie-hêtraie, accompagnée de noisetier, d'orme et de tilleul vraisemblablement plus dispersés. Le hêtre, qui nécessite des sols plus secs que le chêne « prend place sur les coteaux alentours ». Des indicateurs de lisières de forêts, tels que le houx, le sureau, le chèvrefeuille et le lierre, sont également attestés. Une séquence d'aulne, de saule, de frêne et de bouleau, associés aux fougères de sous-bois, révèle la présence de forêt(s) ripariale(s) plus ou moins proche du site. L'influence de l'Homme sur le paysage est perceptible via les pollens de céréales et de poacées qui traduisent la présence de champs cultivés ainsi que d'une ouverture du paysage. Des activités agropastorales sont également apparentes grâce aux plantes prairiales. L'impact humain via cette ouverture du paysage prend de l'ampleur et est visible au fil des séquences chronologiques : le chêne, le hêtre, le noisetier et l'aulne régressent tandis que les plantes anthropogéniques (céréales, châtaigner, noyer, rudérales) s'affirment dans le cortège des herbacées[286].

b. Brève histoire de la recherche

Le site de Rezé bénéficie depuis les années 1950 d'un suivi archéologique régulier, matérialisé par plusieurs fouilles préventives et programmées. La quantité de données récoltées est immense avec la production de nombreux rapports de fouille ainsi que des projets futurs de publication monographique.

Dans le cadre de cette recherche, ce n'est qu'un très rapide état des lieux qui est privilégié, se centrant principalement sur le programme des dernières campagnes.

[283] Différence de hauteur entre deux marées et fluctuations du niveau de l'eau dans les cours d'eau, canaux, bassins et retenues et le dénivelé.
[284] GUITTON *ET AL.* 2016.
[285] Par Axelle GANNE et Chantal LEROYER, CReAAH, Rennes 1.
[286] GANNE 2014 *IN* GUITTON *ET AL.* 2014B.

Ce dernier puise son origine dans la succession de travaux menés entre 1980 et 2003 et dont les plus récents ont été en partie conduits dans une perspective géoarchéologique et paléo-environnementale[287]. Il en ressortait, pour l'époque romaine, l'image d'un secteur dont la vocation commerciale était affirmée dès la fin du Ier s. de notre ère, sous la forme d'entrepôts en lien direct avec de potentiels aménagements de berge qu'il restait à identifier et à caractériser. Les campagnes de fouille engagées entre 2005 et 2016 ont mis en évidence les différents traits de rives existant lors des deux derniers millénaires ainsi qu'une succession d'aménagements de berges établis entre le Ier et le Ve siècle de notre ère.

Les données récentes ont considérablement enrichi le dossier de l'évolution urbaine du quartier qui se développe sur le bas du versant et en arrière du port, situé à environ 500 m au nord. Centré depuis 2005 sur la question du lien entre un quartier de la ville antique et la Loire, le dernier programme 2013-2016 s'est désormais focalisé sur l'étude des aménagements de berges[288] par des équipes pluridisciplinaires et multi-institutionnelles.

Depuis le début de l'année 2011, cette fouille s'inscrit comme une composante à part entière du Programme de Recherche Collectif Archéologie fluviale et environnements holocènes des vallées de la Loire et ses affluents en Pays Nantais[289]. D'autre part, ce chantier sert d'appui, depuis 2005, à un chantier-école co-organisé par l'Université de Nantes et la Ville de Rezé et plus récemment, Nantes-Métropole. Ces fouilles ont contribué à la formation pratique des étudiants du Master 2 professionnel des Métiers de l'archéologie de l'Université de Nantes[290] et est ouvert aux étudiants de Licence et de Master et regroupe dans ce but, près de 40 spécialistes.

Une synthèse des données acquises entre 2005 et 2011 concernant les aménagements de berges a été réalisée en 2012. Celle-ci a été réactualisée récemment à l'occasion du rapport d'opération de la campagne 2013 puis en 2015. La dernière campagne de fouille a eu lieu en été 2016[291].

c. Phasage général

Une des premières phases renvoie à plusieurs centaines de pieux en bois qui ont été identifiés au contact de la terrasse naturelle et du substrat rocheux, mis au jour entre 2008 et 2016 (FIGURE 39)[292]. Ces pieux pourraient constituer les rares témoins des premiers aménagements de la berge antérieurs au milieu du Ier siècle de notre ère et peu ou prou contemporains de la création de ce quartier. En effet, les plus anciennes traces d'occupation remontent aux deux dernières décennies du Ier siècle av. J.-C., mais l'urbanisation du site est surtout prégnante à compter des années 10-20 de notre ère, suivant un plan régulier[293].

FIGURE 39 - Rezé, St-Lupien, zone 4, secteur 14-bas/Est, vue depuis le nord. Exemple d'une série de pointes de micro-pieux, fouillée au sein de la séquence fluviatile US 40775 en 2014 (cl. équipe de fouille, 2014).

287 Opérations dirigées par Stéphane DESCHAMPS et Lionel PIRAULT.
288 GUITTON *ET AL.* 2015.
289 Coordinateur Rémy ARTHUIS ; coordinateur adjoint Martial MONTEIL.
290 UFR Histoire, Histoire de l'art et Archéologie.
291 RFO 2018 en cours.
292 ARTHUIS 2007 ; ARTHUIS ET *AL.* 2012, 132-136.

Vers la fin du Ier siècle de notre ère, la situation devient plus nette avec la mise en œuvre, parallèlement à la vallée de la Loire, d'un aménagement construit à l'aplomb de la rupture de pente naturelle couvrant une surface d'environ 2250 m². Cette phase correspond à une période d'apogée pour le port antique. L'ensemble de cet aménagement de berge présente un caractère monumental affirmé, marqué par un mur épais, qui s'élargit au contact des voies d'accès perpendiculaires au fleuve, sous la forme d'imposantes constructions de forme quadrangulaire : des terrasses faisant office de quais. En somme, on assiste là à une refonte totale du quartier et de ses aménagements de berge, faisant table rase du passé (des premiers aménagements sur pieux et piquets). Cette phase d'aménagements sans précédents s'illustre par la technique de construction en caissons, participant à une mise en terrasses successives et à la parure monumentale de l'agglomération. Ces caissons se présentent sous la forme d'un assemblage mixte constitué de bois et de pierre (FIGURE 40 a et b). Depuis 2005, ce sont plusieurs centaines de mètres carrés d'aménagements en caissons qui ont pu être observés (FIGURE 41). En parallèle au port, lors de cette même période et jusqu'à la moitié du IIe s. apr. J.-C., l'agglomération antique s'étirait avec certitude sur 1 km de long et environ 300 à 400 m de large. Les dernières études lui attribuent une surface minimale de 40 à 50 ha, une surface que l'on peut facilement doubler, en y ajoutant des terrains pré-urbanisés, mais non lotis ou occupés par des installations artisanales (céramique, verre), des carrières d'extraction de matériaux et des nécropoles.

FIGURE 40 - a. Vue générale d'un caisson en bois et pierre (Zone 4, Sect. 15), cl. Équipe de fouille 2014. **b**. Détails et démontage (étude tracéologique sur les sablières basses d'un caisson (CAI 12), cl. X. FAVREAU, 2014.

À compter de la première moitié du IIIe siècle, cette façade portuaire va connaître quelques modifications, en profitant notamment de la destruction progressive de ces terrasses portuaires et par l'apport de matériaux divers quant à l'élaboration d'une rampe (éventuelle cale d'échouage). Cette rampe a connu ensuite plusieurs réfections par le biais de remblais faits de matériaux triés, qui ont été progressivement déposés jusque dans le courant du Ve siècle de notre ère.

Avec ces découvertes majeures, Rezé entre de plein pied dans la catégorie restreinte mais non moins prestigieuse des rares sites portuaires à caractère urbain (Irun, Bordeaux, Vannes, Rouen, Londres, Douvres, Xanten), recourant au principe de la construction en caissons, embrassant par ailleurs un espace nautique assez représentatif, celui de l'arc Atlantique[294].

[293] GUITTON *ET AL.* 2015.
[294] GUITTON *ET AL.* 2015, 19.

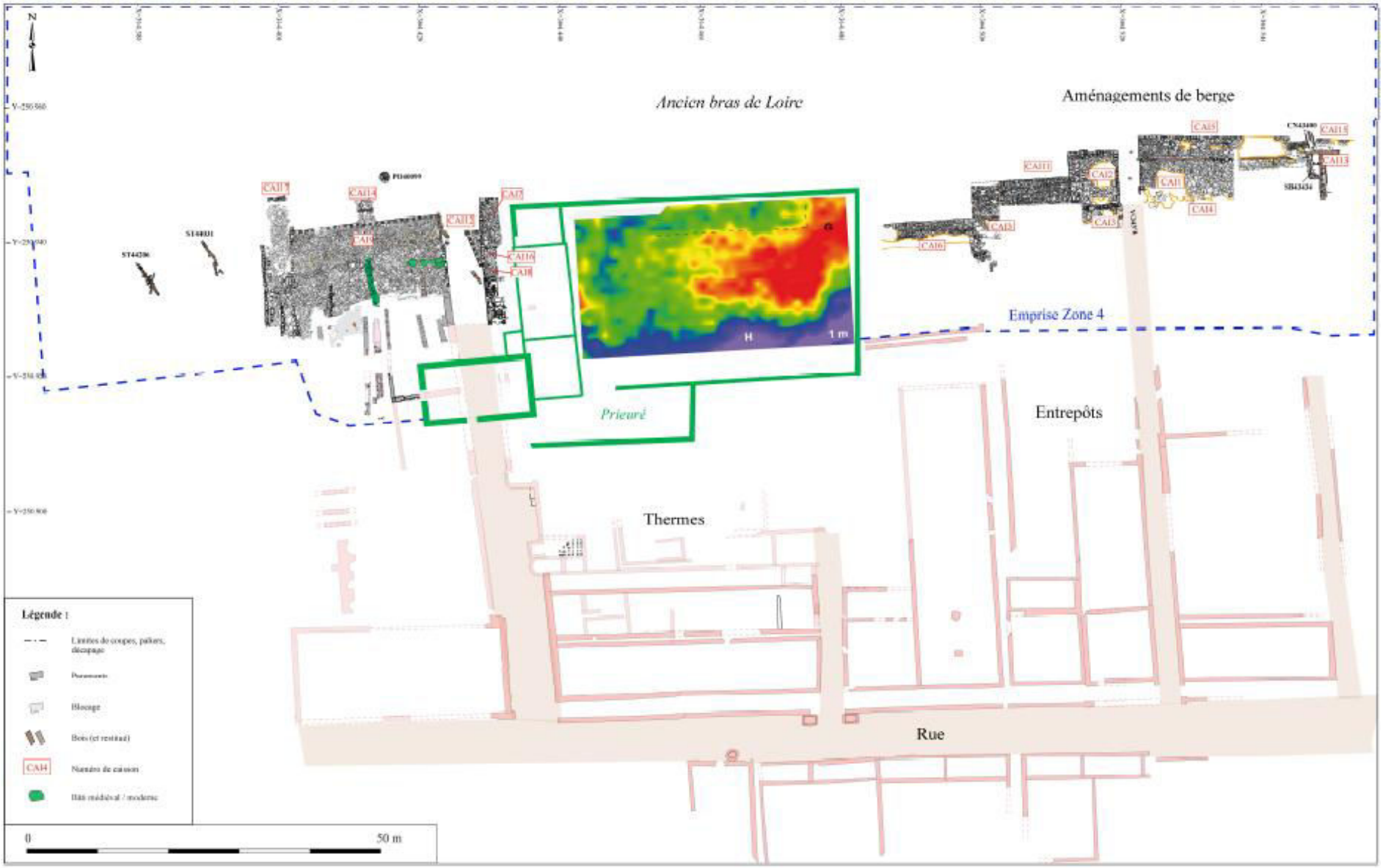


FIGURE 41 - Plan général des fouilles et prospections de Rezé Saint-Lupien. En vert, la zone du prieuré, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015.

2. Contexte de l'étude xylologique et anthracologique

Le site de Saint-Lupien est un site archéologique d'envergure pour les Pays de la Loire. Les bois gorgés d'eau et carbonisés du site constituent un corpus d'objets, de combustibles et de bois d'œuvre très important. Ils concernent différentes thématiques comme notamment la construction monumentale des quais avec des bois de gros gabarit et d'autres phases plus ou moins discrètes de construction comprenant essentiellement les pieux et piquets ainsi qu'un secteur d'artisanat doté un four à chaux sur le haut de la terrasse n°9.

Les échantillons provenant des quais de *Ratiatum* ont précisé la méthodologie, jusqu'alors appliquée sur charbon de bois, à du bois gorgés d'eau d'une conservation remarquable[295-296].

Dans le cadre du chantier-école et de l'ampleur du projet de recherche piloté par David GUITTON et Jimmy MOUCHARD, l'équipe a su s'étoffer de spécialistes du bois et des insectes. La présente étude est intégrée et vient compléter les problématiques des divers spécialistes. Ainsi, l'équipe de l'entreprise DENDROTECH, dirigée par Yannick LE DIGOL a conduit les analyses et les datations dendrochronologiques. Lydiane GANTIER, a effectué son Master 1 et 2 Recherche[297] en dendrologie et dendrochronologie sous la direction de Vincent BERNARD[298], et a procédé à l'identification des essences ligneuses des pieux et piquets pour les phases les plus anciennes ainsi que la datation de ces derniers, en collaboration étroite avec DENDROTECH. Frédéric EPAUD[299], quant-à-lui, a travaillé sur les techniques de charpenterie et du travail du bois dans l'Antiquité à partir des traces d'outils conservées et identifiées sur les sablières et les poteaux mis au jour dans le cadre de la phase monumentale reconnue pour la fin du Ier siècle de notre ère. Enfin, en parallèle, David PÉCRÉAUX[300] a analysé les élytres d'insectes provenant des sédiments archéologiques dans le cadre des activités portuaires ainsi qu'en tant qu'approche paléoenvironnementale développée avec l'archéozoologie dirigée par Aurélia BORVON.

Cette étude repose sur un corpus de 583 échantillons analysés et étudiés sous l'angle de l'entomologie appliquée à la xylologie (pieux, piquets et caissons) ou l'anthracologie (four à chaux). Ces derniers concernent les prélèvements provenant du four à chaux 42456[301]. Les échantillons observés, notamment les bois issus des caissons, proviennent des dernières campagnes de fouille, principalement des campagnes de 2015 et 2016, en raison du démontage systématique des pièces de bois et de la nécessité d'analyser l'intégralité de l'objet ou de la structure, directement sur le terrain[302]. Au final, la partie la plus importante du corpus concerne les pieux et piquets des premières phases d'occupation, pour lesquelles un catalogue a été réalisé[303].

[295] *Cf.* Chapitre II, pages 81. Pour la méthode.
[296] *Cf.* Chapitre IV, pages 274. Pour la description des échantillons analysés.
[297] GANTIER 2016.
[298] Chargé de recherche au CNRS - UMR 6566 CReAAH - Rennes 1.
[299] Chargé de recherche au CNRS - UMR 6173 CITERES - LAT - Université de Tours.
[300] Professeur agrégé de Sciences de la Vie et de la Terre (2nd degré) et titulaire d'un doctorat sur la paléoentomologie du site du Bourget (Savoie), sous la direction de J.-D. Vigne.
[301] *Cf.* Chapitre V, pages 430.
[302] *Cf.* Chapitre II, page 86.
[303] *Cf.* Annexe 7.

L'intérêt principal était de connaître l'état sanitaire des bois employés dans les aménagements des berges, et ainsi de voir si cela fournissait des informations susceptibles d'aider à la datation et à la compréhension du choix des essences ligneuses retenues. À l'inverse, en présence de bois sain, l'interrogation se portait alors sur un traitement ou un choix particulier du bois (protection naturelle). Au fil des analyses, l'appréhension du moment de l'infestation s'est imposée, notamment concernant des échantillons attaqués entre deux campagnes de fouilles, interrogeant alors sur l'attractivité des bois archéologiques.

Au niveau de la méthodologie, le site de Saint-Lupien à Rezé fait office d'un cas d'école en particulier en ce qui concerne l'échantillonnage des grandes pièces de bois gorgé d'eau. Il a été, pour ce dossier, essentiel pour tester et adapter la méthode d'observation des galeries et des vermoulures à des bois gorgés d'eau. Au niveau de la logistique du chantier, il est important de souligner d'une part que l'eau de pluie stagnait dans les zones excavées et que la nappe phréatique, résultant de l'ancien bras de la Loire aujourd'hui asséché, remontait également. Lors de la fouille, il était donc essentiel d'être équipé d'une pompe pour retirer l'eau de certains secteurs. Il s'agit d'un aspect certes contraignant mais c'est également ce qui a permis la conservation des bois et des autres matières organiques. De plus, entre deux campagnes de fouille avant la remise en eau du site, les grands bois d'œuvre composant les quais monumentaux de la fin du Ier s. apr. J.-C. étaient badigeonnés d'argile dans le but de les protéger des ravageurs actuels durant l'année[304].

L'ensemble des résultats xylologiques, anthracologiques et entomologiques sont présentés dans le chapitre IV[305], tandis que les données concernant l'état sanitaire des combustibles du four à chaux n°42456 sont détaillées dans le chapitre V[306].

C. L'habitat rural gallo-romain du col d'Adon, Les Mujouls, Alpes-Maritimes (Ier-IIIe siècle apr. J.-C.)

1. Présentation du site

a. Localisation et contextes naturels

À quelques kilomètres au sud-est du village des *Mujouls*, dans les Alpes-Maritimes (06) (FIGURE 42), se trouve le col d'Adon (ou *Abdoun*) à 988 m d'altitude (FIGURE 43). Le site se situe à quelques mètres au nord du col (à 1000 m d'altitude) orienté plein sud. Il est cerné au nord par le Mont-Mal (1071 m), au sud par la montagne de Charamel (1225 m) et à l'ouest par les clues d'Aiglun,

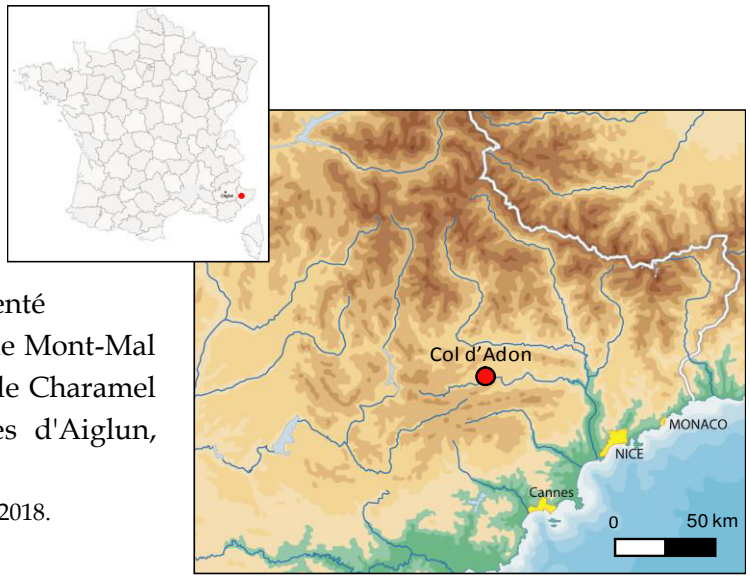


FIGURE 42 - Carte de localisation du site du col d'Adon au sein des Alpes-Maritimes (fond de carte V. DUMAS, CCJ, CNRS).

[304] J. MOUCHARD, communication orale juin 2018.
[305] *Cf.* pages 266.
[306] *Cf.* pages 430.

façonnées par le cours d'eau de l'*Estéron*, ainsi que par des zones boisées denses à la proximité ouest et est du site[307].

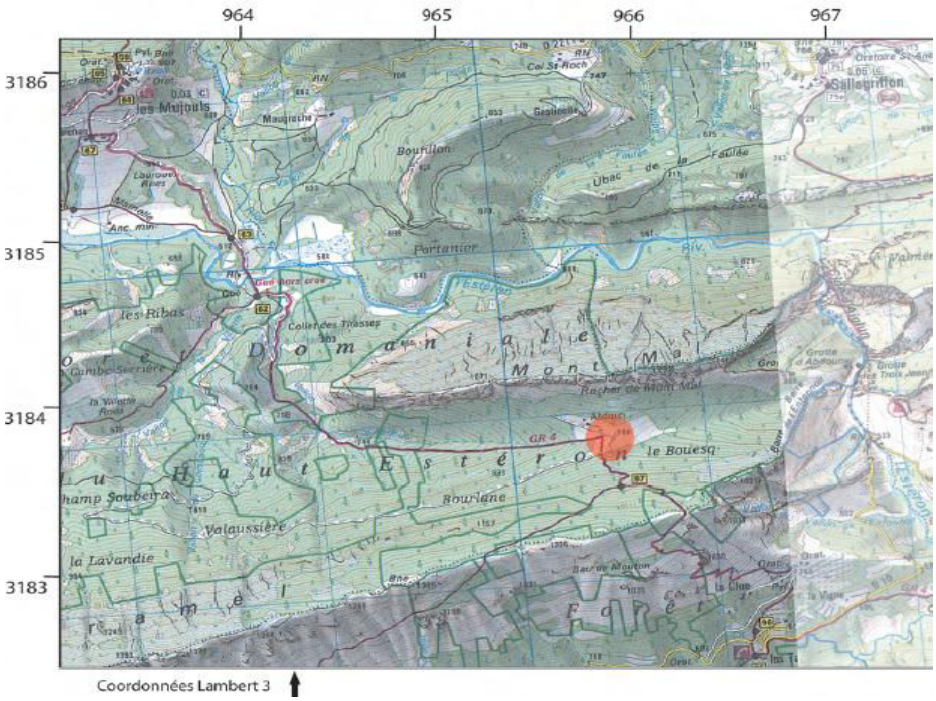


FIGURE 43 - Carte IGN avec localisation du site du col d'Adon. Ech. : 1/20e.

Sur le plan topographique, le col permet d'accéder aux versants nord et sud de la montagne de Charamel en contournant les clues d'Aiglun (FIGURE 44). La rivière de l'*Estéron* se trouve en contrebas du col, de 560 à 581 m d'altitude en moyenne, soit à environ 400 m de dénivelé par rapport au site. Néanmoins, des remaniements importants de cette topographie ont eu lieu, à la suite de l'établissement des terrasses modernes[308].

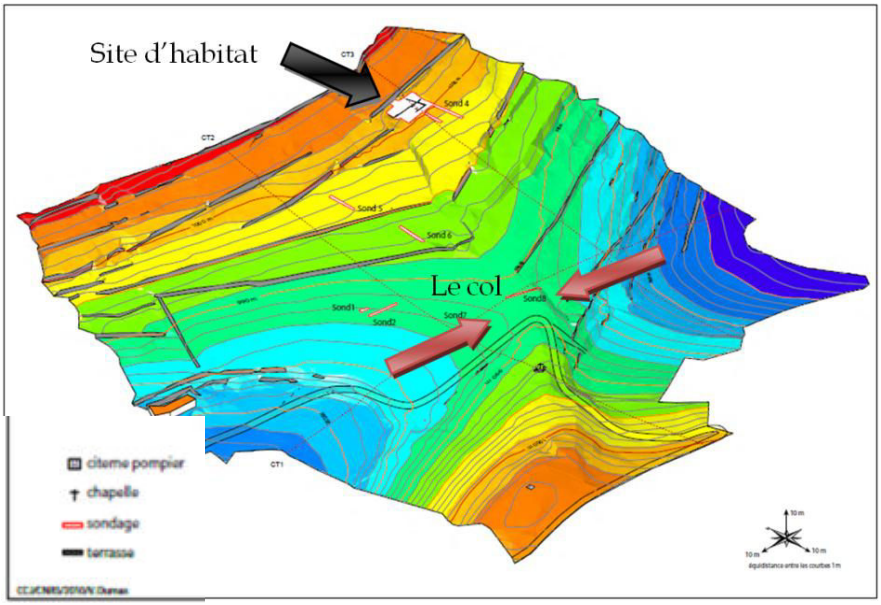


FIGURE 44 - Topographie du col d'Adon, modèle numérique de terrain avec courbes isométriques (par V. DUMAS, CCJ, CNRS). Localisation du site étudié (flèche noire) et positionnement par rapport au col (flèches rouges).

[307] GOLOSETTI 2007 ET 2010, 12.
[308] GOLOSETTI 2010, 12 ; GOLOSETTI 2016.

La zone d'investigation se trouve dans une région majoritairement calcaire. Les sols sont également composés de rendzine et d'argiles. Du grès d'Annot ou encore du schiste Permien affleurent dans certains secteurs. Cet ensemble est bordé au nord par le sol cristallin des étages alpin et subalpin, alors qu'au sud, la base géologique s'est formée par plusieurs successions d'alluvions anciens tout le long du fleuve du *Var* jusqu'à l'agglomération de Nice[309].

La végétation actuelle présente un faciès varié composé de hêtraies, chênaies, pinèdes, lavandaies, de quelques sapinières ainsi que d'autres essences plus dispersées (FIGURE 45). Il ne s'agit pas ici d'établir une correspondance entre la végétation actuelle et celle du passé, mais de fournir quelques indices de biotopes et d'étages de végétation pour la compréhension du paléoenvironnement des alentours du col.

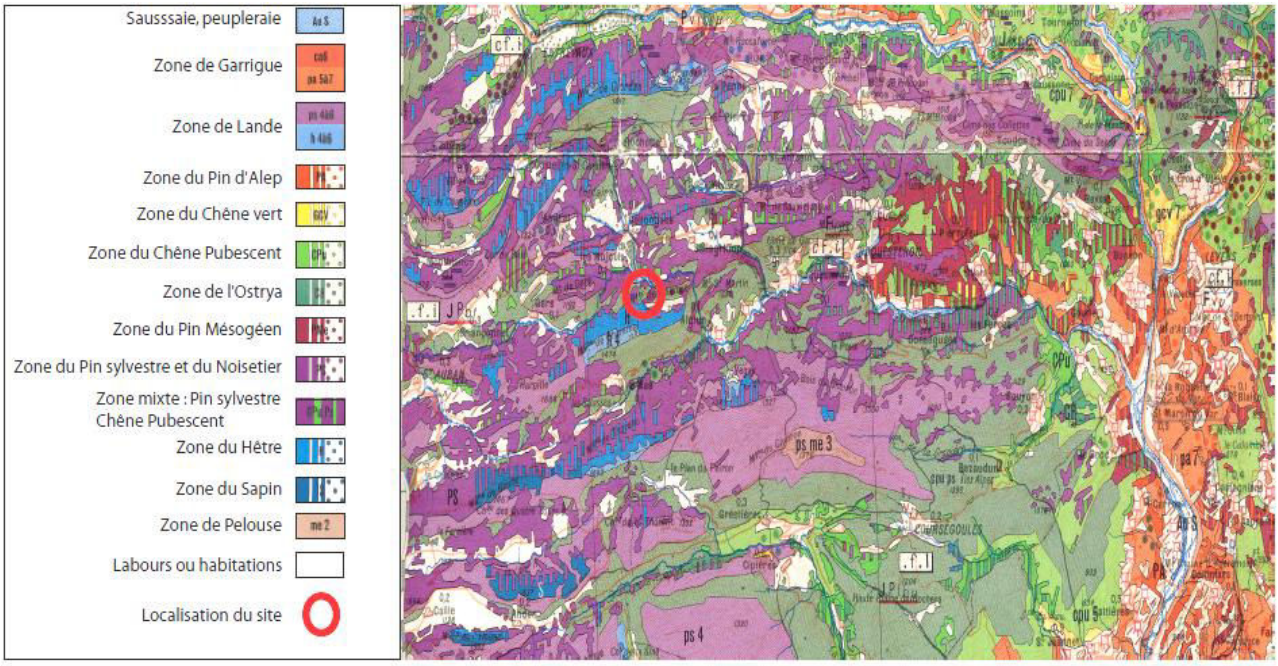


FIGURE 45 - Carte de végétation de l'est des Alpes-Maritimes avec localisation du site du col d'Adon (source OZENDA 1956).

La zone de passage du col appartient à l'étage supraméditerranéen, domaine du chêne pubescent souvent associé au pin mésogéen, alors que le massif de Charamel et le Mont Mal font partis des étages supraméditerranéen et montagnard. Ce dernier, allant de 800 à 1600 m environ, est caractérisé par le hêtre qui à tendance à reculer au profit du pin sylvestre, et le sapin qui est présent sous forme de quelques hêtraies-sapinières au sein des micro-zones les plus humides, implantées le plus souvent sur les versants nord des montagnes. Quelques zones à vignes et oliviers s'y développent également[310]. Dans les années 1950-1960, le col et les montagnes alentours étaient exploités pour leur bois[311]. L'abandon de cette activité a laissé, sur les versants de part et d'autre du col, une végétation essentiellement composée de résineux (FIGURE 46 a).

[309] OZENDA 1956 ; OZENDA 1981.
[310] OZENDA 1956.
[311] Information orale par Monsieur G. Bouchard, maire des Mujouls.

a. **b.**

FIGURE 46 - a. Vue des terrasses modernes et du Mont Mal, côté nord du col d'Adon. **b.** Versant sud faisant face au col (Charamel), composé en grande partie de pins. Vue depuis le col.

De plus, le col demeure actuellement un espace ouvert dont les cultures modernes limitent l'espace (FIGURE 46 b). Le reste de la composition floristique du col comprend du thym commun, différentes espèces de genêts mêlés au buis commun sur les pentes rocheuses. La chênaie pubescente et le pin sylvestre semblent être à égale proportion à l'heure actuelle dans la vallée de l'*Estéron* et au nord de Puget-Théniers[312].

b. Historiographie de la recherche

Dans les années 1880, un agriculteur découvre lors de labours de son terrain sur le col, un autel (FIGURE 47), quelques monnaies ainsi que des tessons d'amphores. C'est alors que la présence d'un site archéologique, non loin du hameau du col (abandonné en 1914), fut attestée. Ces faits sont relatés en 1911, par Joseph LEVROT, mais ce n'est que plus tard, en 1933, que H. DUMEZ confirma dans un article, l'authenticité de l'inscription de l'autel.

FIGURE 47 - Vue du moulage de l'autel antique dans un mur de terrasse actuelle, et inscription latine de l'autel, clichés R. GOLOSETTI.

[312] OZENDA, 1956.

Aujourd'hui, l'autel (de 101 cm sur 43 cm) est conservé dans l'église de Cipierres et un moulage se trouve encastré sur la partie supérieure d'une terrasse du col. L'inscription fait état d'une dédicace d'un sanctuaire à *MARS VERACINIUS*[313] par *MARCUS QUARTINIUS*[314], donnant ainsi une première datation de la seconde moitié du IIe siècle apr. J.-C., ce qui laissait supposer un site gallo-romain à tendance cultuelle.

La présence de mobilier, notamment de blocs de pierre d'appareil, ont été attestés par G. BARRUOL à la fin des années 60, une étude qui fut ensuite reprise dans les années 80 par M. COMPAN. Ce dernier s'intéressa également aux vestiges de la dite « chapelle » de Saint-Adon, située sur le col et connue depuis 1778. En 2002, L. LAUTIER a procédé à une prospection-inventaire où il a repéré du mobilier dispersé, notamment de la céramique ainsi que des éléments d'architecture en pierre calcaire. Enfin, un inventaire des vestiges réalisé en 2005 par R. GOLOSETTI[315], confirma la présence de mobilier céramique sur certains secteurs du col, conduisant à envisager un éventuel habitat, attesté plus tard par la fouille, en lien avec le sanctuaire ainsi que des éléments d'architecture. L'ensemble a fourni des données pour une zone complète de 2 ha. À la suite des campagnes d'études, le site se présente comme étant un habitat du Haut-Empire, probablement lié à un sanctuaire, apparu au Ier s. apr. J.-C. et abandonné à la fin du IIIe s. apr. J.-C[316].

c. Zones d'investigations

Depuis le début des fouilles en 2007, un total de huit sondages ont été effectués (FIGURE 48). Parmi eux, la zone 4 a livré des vestiges de l'habitat gallo-romain du col. Cette zone est située sur le versant nord-est du col. Les autres sondages et études de mobiliers plus spécifiques sont traités dans le rapport final d'opérations[317].

L'établissement antique a été localisé lors de la première campagne en 2007, à travers l'ouverture de deux tranchées de sondage de 20 m de long à quelques mètres du lieu où l'autel a été réemployé.

Des murs maçonnés de petits moellons liés au mortier de chaux ont été découverts. À la fin de la campagne, les recherches se sont arrêtées sur un niveau de destruction composés de *tegulae*, semblant être présent sur l'ensemble des cinq espaces observés.

Lors de l'opération triennale 2008-2010, les fouilles ont été enrichies par la réalisation d'une prospection magnétique, effectuée par Pierre-Etienne MATHÉ et Jérôme GATTACECCA[318] en 2008, afin de mieux appréhender l'importance de l'occupation gallo-romaine sur le col[319]. En parallèle, la suite de la fouille de l'habitat s'est poursuivie : les limites de l'établissement gallo-romain sont apparues, la compréhension de la fondation des murs et différents espaces structurant l'ensemble ont été mis au jour, tel que l'espace 3,

313 *Deo Marti / Veracinio / M(arcus) Quartinius / Auitiani fil(ius) / Paternus / aedem fecit / et aram posu[it] / libens mer[i]/ti ex uoto.*
314 COMPAN 1980 ; GOLOSETTI 2007 ET 2008.
315 Docteur en archéologie, Université Aix-Marseille I / Mcf Université Paris Sorbonne IV.
316 GOLOSETTI 2009 ET 2010.
317 GOLOSETTI 2010.
318 CEREGE - UMR 7330.
319 GOLOSETTI 2008.

correspondant à un niveau de circulation et comprenant des vases de stockage (FIGURE 49 a et b), ou encore l'espace 5, interprétée comme une pièce de vie où un foyer (FY 4089) a été repéré (FIGURE 50). C'est également au sein de ce dernier espace que plusieurs structures en bois carbonisé ont été découvertes. L'ensemble de ces espaces concernent une superficie de plus de 150 m² se répartissant en huit espaces et vraisemblablement datés à partir de la seconde moitié du Ier s. de notre ère (FIGURE 51)[320].

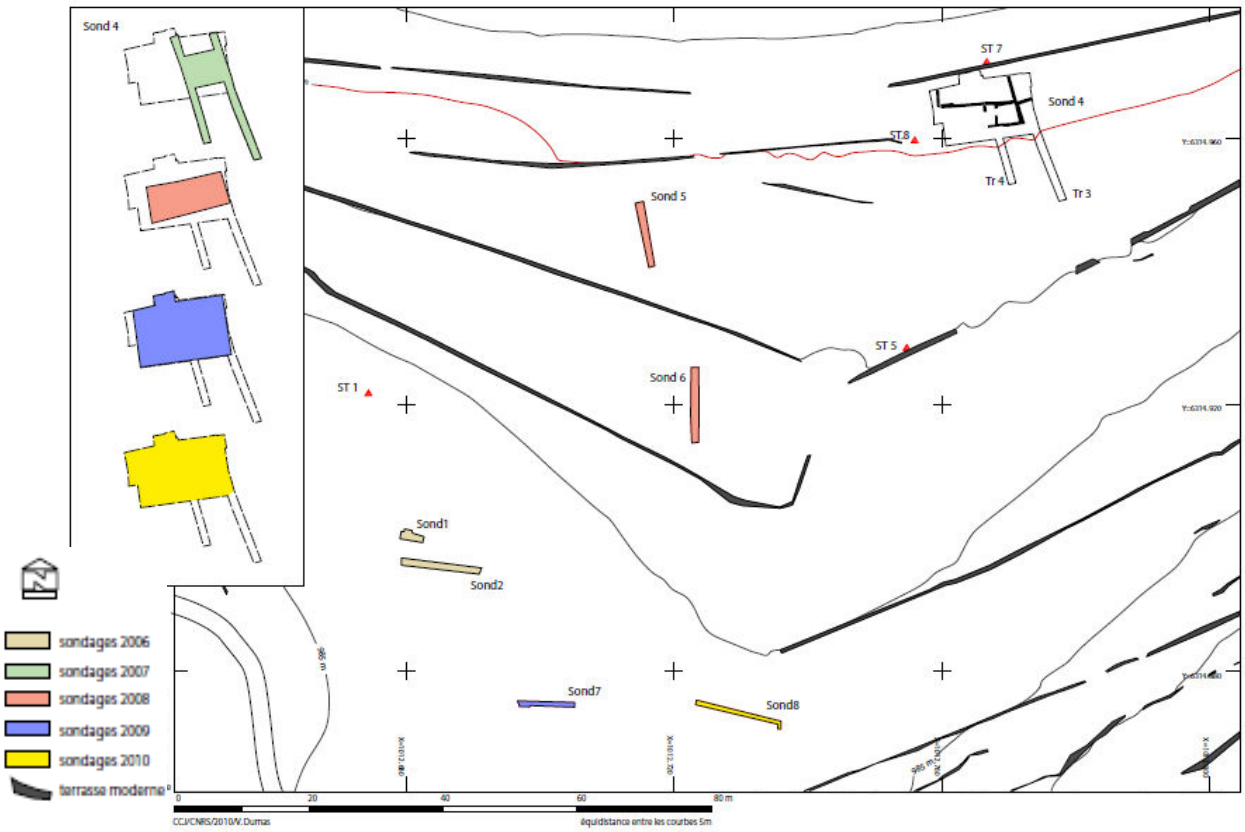


FIGURE 48 - Plan de répartition des sondages sur le col d'Adon en 2010 (V. DUMAS, CCJ, CNRS).

b.

FIGURE 49 - a. Vue zénithale de l'espace 3 et du niveau de circulation (US 4073) avec les vases de stockage (DL 4028 et DL 4043) *in situ* (Cl. V. DUMAS, CCJ, CNRS). **b.** *Dolium* DL 4028 (Cl. Ph. GROSCAUX, CCJ, CNRS).

[320] GOLOSETTI 2010, 70-80.

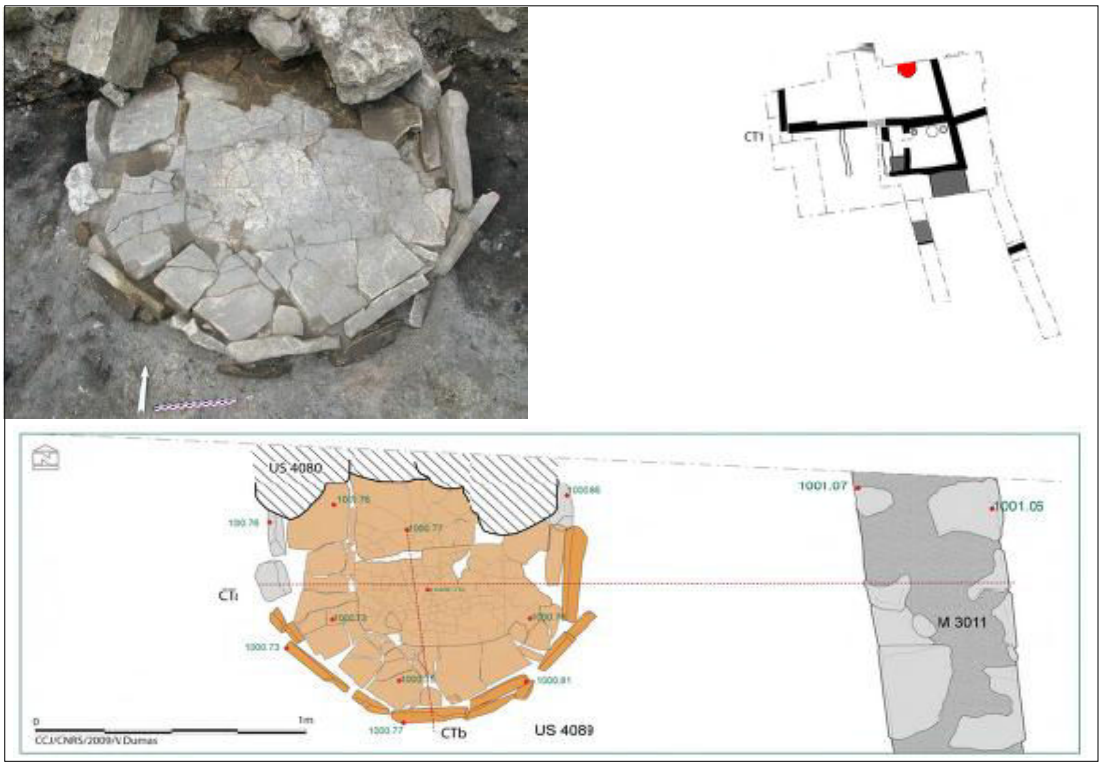


FIGURE 50 - Localisation de la structure FY 4089. Cliché depuis le sud (R. GOLOSETTI) et relevé planimétrique (V. DUMAS CCJ, CNRS).

2. Contexte de l'étude anthracologique

L'étude anthracologique, initiée depuis 2010[321], s'est effectuée dans le cadre des fouilles programmées de 2010 et de 2011, menées par Raphaël GOLOSETTI avec la collaboration de Vincent DUMAS[322], de Florence MOCCI[323] et de Kévin WALSH[324, 325].

C'est à partir de cette première analyse que le sujet de thèse s'est initié et forgé. Le site du col d'Adon a aidé à la mise en place des protocoles de prélèvements (topographie adaptée, prélèvement des structures carbonisées) et d'observations des charbons de bois mais aussi des galeries d'insectes xylophages, spécifiquement pour du bois de construction[326]. Originellement, cette étude avait pour but de constituer une première base de données pour le site et de fournir des interprétations sur l'usage du bois pour cet habitat rural préalpin. L'objectif était également d'appréhender la provenance et le choix de ces bois de construction, à travers l'analyse d'un sondage paléoenvironnemental.

[321] Master 1 Recherche, à Aix-Marseille Université sous la direction de Dominique GARCIA et d'Aline DURAND : *Le bois dans l'architecture gallo-romaine dans les Alpes : étude du site des Mujouls (06)*, 2011.
[322] Topographe, CCJ - UMR 6573, CNRS.
[323] CCJ - UMR 6573, CNRS.
[324] Department of archaeology, University of York, G.-B.
[325] MOCCI *ET AL.* 2010, 315-318.
[326] *Cf.* Chapitre II, page 83.

FIGURE 51 - Plan général des vestiges de la zone 4 (V. DUMAS, CCJ, CNRS).

Les données archéologiques et anthracologiques acquises lors de la première campagne ont conduit vers de nouveaux questionnements et interprétations. Ainsi, la seconde campagne s'est enrichie de plus de 40 éléments en bois prélevés plus précisément avec un relevé topographique systématique et un enregistrement adapté (fiche type US, créées spécialement pour les charbons de bois). L'habitat du col d'Adon est le site précurseur de la méthodologie déployée dans le chapitre II et a contribué à un développement des observations xylo-entomologiques : comptage des galeries, forme et taille des galeries, différentiation avec des radicelles, individus taphonomiques, premières vermoulures observées, *etc*. L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques sont présentés dans le chapitre IV[327].

[327] *Cf.* Chapitre IV, page 226.

II. Les études anthracologiques et xylologiques sans maîtrise des prélèvements

A. Le quartier des entrepôts du site de *le Fâ*, Barzan, Charente-Maritime (70-110 apr. J.-C.)

1. Présentation du site

Le site archéologique au lieu-dit *Le Fâ* est situé dans la commune de Barzan en Charente-Maritime, entre 14 et 17 m d'altitude. Implanté sur un versant en pente douce sur l'estuaire de Gironde, à 2 km du village de Talmont, le site de Barzan est l'un des plus importants sites gallo-romain de la région Poitou-Charentes (Figure 52).

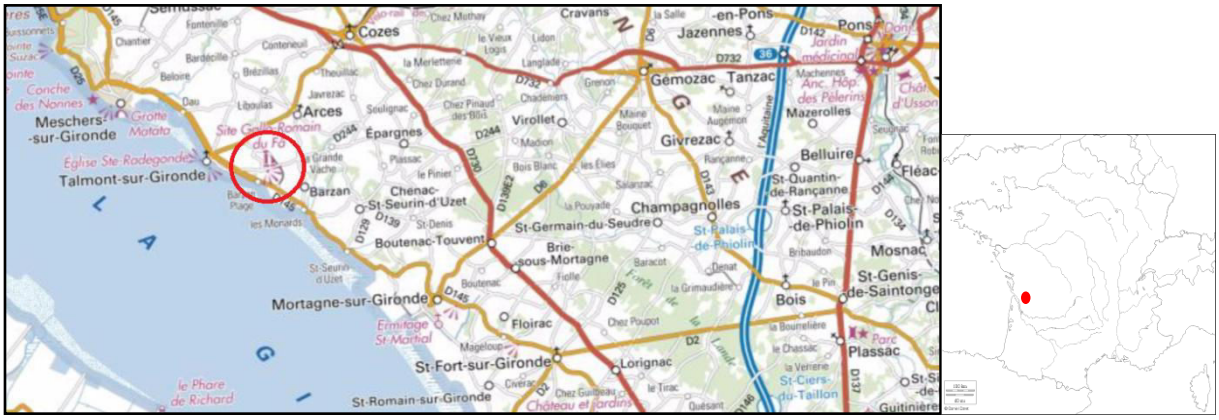


Figure 52 - Carte IGN avec localisation du site gallo-romain du Fâ.

Les plus anciennes traces d'occupation à proximité immédiate du site concernent un habitat de la période du Néolithique, dont les premières céramiques ont été découvertes en 1970 : cette zone est nommée « site de la Garde ». L'attestation d'une occupation à la fin de l'âge du Bronze est également confortée grâce à l'identification, faite par Jean-Pierre Mohen, d'une série de haches en bronze (1800 av. J.-C.), en plus d'éléments céramiques conservés au musée de Royan. L'âge du Fer est également représenté sur le site de Barzan, notamment par l'attestation d'un sanctuaire indigène (un *fanum*, avec son fossé délimitant) du IIe et Ier s. av. J.-C.

La région fut conquise par les Romains vers 58 av. J. C., la capitale de la province romaine était *Santonum* (Saintes) (peuple des Santones). L'agglomération secondaire de la *civitas* aurait été *Novioregium*, dont les hypothèses et les recherches récentes tendent à dire qu'il pourrait s'agir du site de Barzan (Figure 53).

Figure 53 - Vue générale du site du Fâ à Barzan (extrait du site du Conseil Général).

La végétation est aujourd'hui profondément marquée par la culture céréalière et viticole. Toutefois, la situation géographique, notamment l'estuaire et la proximité de l'océan, tend à promouvoir une végétation adaptée au climat tempéré océanique aquitain (chêne, charme, châtaignier, ajonc, genêt, érable, merisier, noyer ainsi que du frêne, du saule et de l'aulne dans les zones de marais littoraux. Dans cette région, il est possible d'avoir des remontées de flore méditerranéenne (chêne, vert, pin maritime...). Une étude palynologique a eu lieu sur le puits 25055 provenant du quartier du sanctuaire, fouillé entre 2005 et 2008. Les résultats dressent un premier panorama de la végétation entre les années 90 et 150 apr. J.-C.[328] avec une chênaie-hêtraie accompagnée d'aulne et de bouleau mais aussi de quelques pins (de type pinèdes des landes).

L'occupation à l'époque romaine est attestée jusqu'à la fin du IIIe siècle. Mais des occupations plus tardives, notamment durant le Moyen Âge et au XVIe siècle où le moulin du Fâ fut édifié sur le *podium* du temple romain, sont également connues.

Depuis 1994 et jusqu'à aujourd'hui, le site fait l'objet de fouilles programmées. Auparavant les mentions et l'intérêt portés pour ce site sont importants. On note en particulier les travaux de Claude MASSE, géographe et ingénieur du roi Louis XIV, qui a étudié les communes de la région de Saintes. Il décrit ainsi une ancienne ville, identifiée aujourd'hui comme étant le site gallo-romain, située à quelques kilomètres de Talmont. Entre 1921 et 1926, Léon MASSIOU effectue des fouilles ciblées au niveau du temple. À partir des années 1935 jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, puis entre 1956 et 1963, Louis BASALO[329] approfondit les recherches sur la base du temple et découvre les premières traces des thermes tout en formant, en parallèle, de jeunes étudiants. Les recherches ont ensuite cessé, par manque de moyens, jusqu'aux premières photographies aériennes de Jacques DASSIÉ en 1975. La propriété était privée jusqu'à son rachat en 1993 par la municipalité de Barzan et c'est la même année qu'est créée l'ASSA Barzan[330] pour l'ouverture au public. Enfin, en 1999 a lieu la création d'un syndicat mixte[331] donnant un nouvel élan de recherche et touristique au site.

L'agglomération gallo-romaine du Fâ comprend, un temple à l'est du site dit « le temple de la Garde »[332], un sanctuaire et un grand temple circulaire possédant un porche, une *cella* ronde au centre, une colonnade et une galerie circulaire. Ce dernier a été fouillé par Pierre AUPERT[333] au début du XXe s. Un théâtre, fouillé depuis 2007, occupe un flanc de la colline. De plus, il existe un forum, un quartier de la ville portuaire et ses entrepôts publics. L'ensemble fait environ 120 ha et a bénéficié de prospections électromagnétiques et de vues aériennes. Par ailleurs, à l'ouest, un quartier des thermes ainsi qu'un quartier d'habitation ont été mis au jour par les fouilles d'Alain BOUET[334]. Enfin, une grande avenue (*decumanus*) menant au temple, d'une largeur d'environ 10 m, a été repérée en vue aérienne[335].

[328] ARGANT 2015.
[329] Architecte à Royan, 1935.
[330] Association pour la Sauvegarde du Site Archéologique du Fâ.
[331] Associant la commune de Barzan et le Conseil Général de Charente Maritime.
[332] Classé Monument Historique depuis 1937.
[333] Directeur de recherche au CNRS, Bordeaux, 2008.
[334] Professeur à l'Université Bordeaux Montaigne, Ausonius (Institut de Recherche Antiquité et Moyen Âge), UMR 5607, Bordeaux.
[335] BOUET *ET AL.* 2005 ET 2008 ; BOUET 2011 ; BOUET (DIR.) SOUS PRESSE.

La zone traitée dans ce dossier se concentre sur le quartier des entrepôts dont les charbons de bois d'un plancher carbonisé ont été étudiés[336]. Les entrepôts font partie des bâtiments symboliques de cette agglomération portuaire. Ils se trouvent à proximité du grand sanctuaire.

La fouille des entrepôts, découverts par les photographies aériennes de Jacques DASSIÉ, a débuté en juin 2002 (FIGURE 54 ; FIGURE 55). Au cours des deux premières campagnes programmées, une zone de 306 m² avait été fouillée, mettant en évidence quatre phases d'occupation : la phase 1 (50-30 av. J.-C.), la phase 2 (de 30 av. à 10 apr. J.-C.), la phase 3 (10-20 apr. J.-C.), la phase 4.1 (20-40 apr. J.-C.) date de mise en place de l'entrepôt et la phase 4.2, correspondant à un agrandissement et une restructuration du bâtiment, particulièrement l'intérieur de la cour centrale et l'aile sud. Les travaux sont à placer à la fin du Ier s. ou au début du IIe s. Le bâtiment est abandonné dans le IIIe s., peut-être au début de cette période[337].

FIGURE 54 - Vue aérienne du bâtiment 1 du quartier des entrepôts, cliché J. DASSIÉ.

La fouille des entrepôts entre 2003 et 2008 a dégagé un premier bâtiment (FIGURE 55), possédant dans une première phase, un portique et dans une deuxième phase, un réaménagement comprenant des boutiques construites en façade ainsi qu'une cour centrale. Des structures (caves) sont mises au jour à l'intérieur de la cour centrale. L'ensemble des fouilles couvre une surface de 5000 m².

En parallèle, de 2001 à 2009, le quartier d'habitation à l'ouest des thermes a fourni des informations importantes sur les types d'habitations et sur l'aménagement du site de Barzan. Les bâtiments découverts sont datés entre 50 apr. J.-C. et le IIe siècle. Plusieurs des constructions mises au jour ont été détruites par un incendie.

[336] *Cf.* Chapitre IV, pages 194.
[337] L'historique des recherches du quartier des entrepôts se trouve dans BOUET *ET AL.* 2005, p. 78.

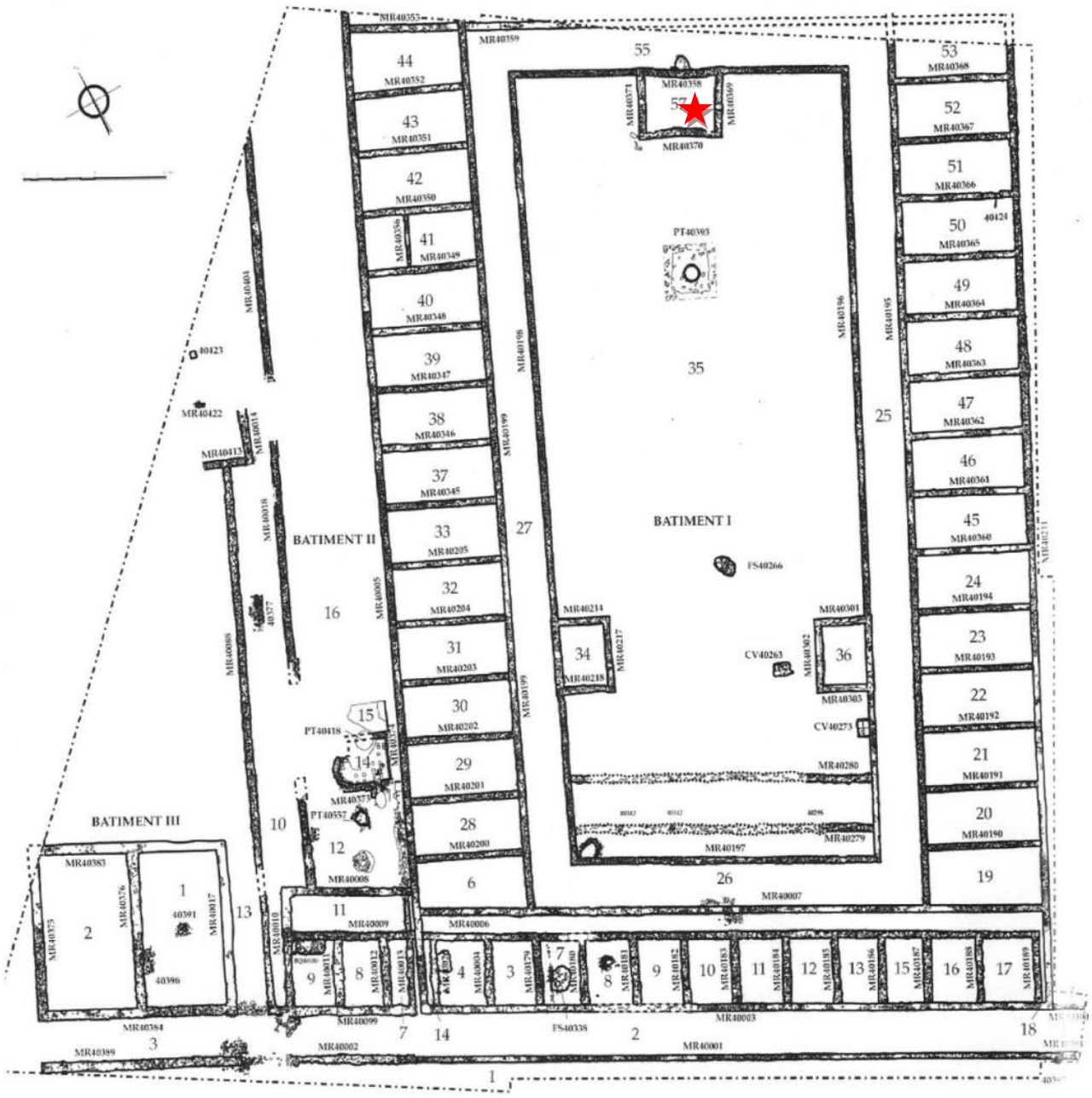


FIGURE 55 - Plan général des entrepôts et localisation de la cave 57, tiré de BOUET *ET AL.* 2004.

2. Contexte de l'étude

L'étude anthracologique du plancher mis au jour dans la cave 57 des entrepôts de Barzan, a fait l'objet d'une comparaison avec les éléments en bois carbonisé issus du site des Mujouls étudiés lors du master.

Les premières analyses anthracologiques avaient été initiées par Philippe POIRIER[338]. Il a accepté de transmettre les bois ouvragés de l'entrepôt. Les prélèvements ainsi que le

[338] Anthracologue, INRAP ; POIRIER 2003.

tamisage avaient déjà été effectués en collaboration avec la carpologue Linda HERVEUX[339]. En revanche, le prélèvement individualisé des pièces du plancher n'a pas pu être effectué, les vestiges carbonisés semblant trop se recouper les uns les autres sur le terrain. L'autre intérêt de l'analyse de l'état sanitaire des charbons de bois de ce site réside dans l'étude paléoentomologique réalisée en parallèle par Philippe PONEL. De plus, cette étude a aidé à l'application de la méthodologie, élaborée à l'origine sur le site du col d'Adon, sur des bois de construction provenant d'une autre région et dont la connaissance du terrain était absente. La comparaison des différentes données acquises a ainsi pu être menée. Comme cela sera décrit dans le chapitre IV, les bois de Barzan ont fourni des données négatives concernant les traces d'insectes xylophages contrairement au col d'Adon ou Camelin. Ces résultats ont ouvert les pistes d'interprétations et de questionnements, en particulier sur les notions de traitements et de « bonne santé » du bois. L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques sont présentés dans le chapitre IV[340].

B. LE QUARTIER DE L'ÉCOLE DES POIRIERS, FRÉJUS, VAR (DÉBUT DU IER S. AU VIE S. APR. J.-C.)

1. Présentation du site

L'ancienne école des Poiriers se situe sur l'avenue du XVe Corps à Fréjus[341] (FIGURE 56). Situé en plein cœur de la ville de Fréjus, ce site a livré un quartier urbain de 4806 m² très bien conservé pour une surface totale de 8000 m². La fouille préventive s'est déroulée sur six mois entre août 2009 et février 2010 et a été conduite par une équipe de 16 personnes dirigées par P. EXCOFFON. Il s'agit d'un lieu regroupant un marché, un entrepôt, une blanchisserie, des thermes et une auberge, situé dans le quart sud-est du *Forum Julii,* au croisement d'un *cardo* et d'un *decumanus.* Le site aurait été occupé à partir des années 60 apr. J.-C., jusqu'au milieu du IIIe siècle, où il commence à être abandonné. Des occupations plus ou moins pérennes sont attestées jusqu'au début du VIe s.

La phase 1 correspond aux premières traces d'occupation du site datées entre 20 et 90 apr. J.-C et concerne en particulier la zone 1, 2 et 3 (FIGURE 57). Cet état voit notamment le développement d'un atelier de potier dans la zone 3, dont un four et avec près de 600 fragments de céramiques surcuits ou déformées mises au jour sur l'ensemble du site sur les niveaux de fonctionnement contemporains[342]. En parallèle, huit fosses, dont une contenant des os humains, ont été creusées dans le substrat rocheux et posent la question d'une probable nécropole antérieure à ce début de formation du quartier (datation 120-50 av. J.-C.). Enfin, quelques traces d'un habitat en zone humide de 30 m² ont été attestées (brique de terre crue) mais il reste difficile d'en établir un plan précis en raison de son arrachement provoqué par la construction ultérieur d'un collecteur. Cette phase, de par la réalisation de

339 Archéobotaniste (carpologue et anthracologue) chercheure associée Archéorient (environnement et société de l'environnement ancien), Orient et Méditerranée UMR 8167 ; INRAP.
340 *Cf.* Chapitre IV, page 194.
341 *Cf. supra*, site de l'îlot Camelin.
342 EXCOFFON 2015A, 73.

canalisations visant à assainir le secteur et la construction de rues, marque l'extension du *pomerium* initial de la ville avec une viabilisation progressive d'un nouveau quartier *intra-muros* plutôt que de la création d'un quartier *extra muros*[343]. En ce qui concerne le contexte végétal, la phase 1 présente un couvert de type garrigue (romarin, ciste, bruyère, genévrier et myrte) dont le terrain est grignoté petit à petit par le pin d'Alep. Un couvert végétal qui s'ouvrira de plus en plus au fil des phases d'occupation, vraisemblablement symptomatique de l'impact humain.

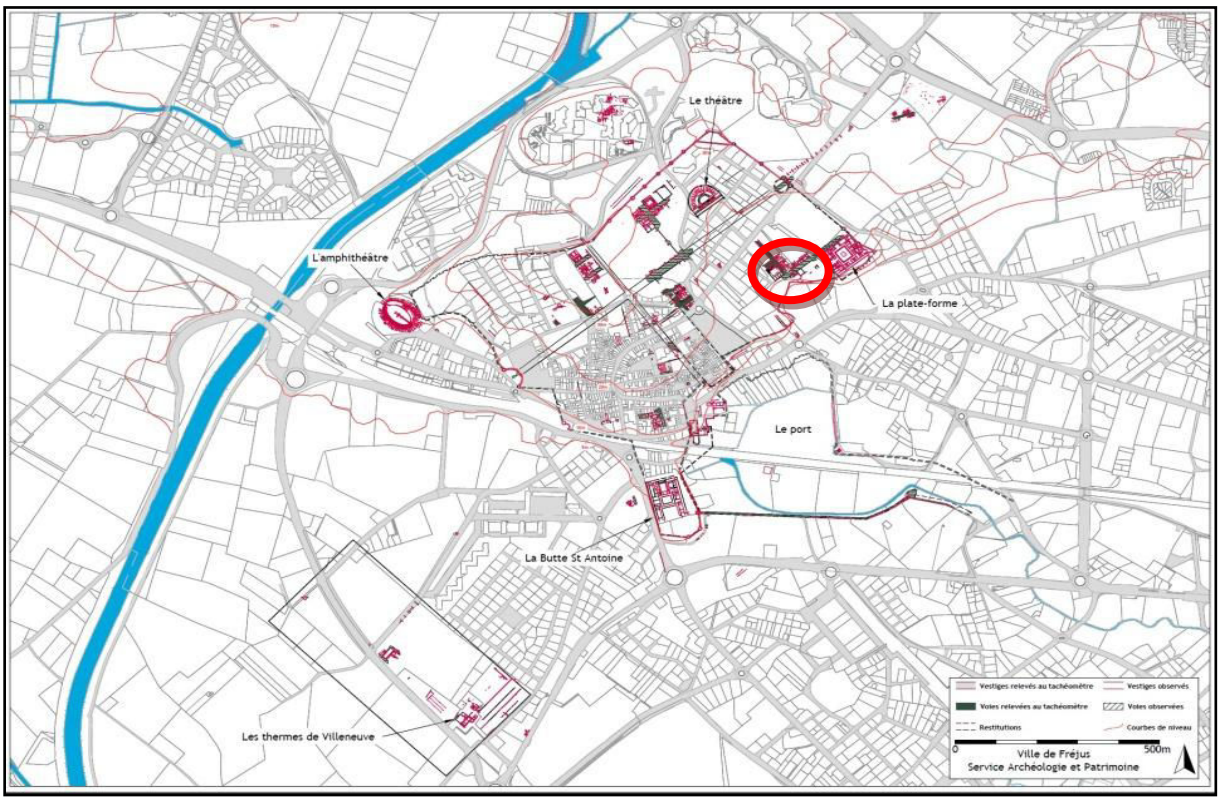


FIGURE 56 - Plan général de Fréjus avec implantation de la ville antique et localisation du site de l'école des Poiriers (SAPVF).

Les phases 2 (90 - 150 apr. J.-C.) (FIGURE 58 a), 3 (150 - 200 apr. J.-C.) (FIGURE 58 b) et 4 (200 - 340 apr. J.-C.) correspondent à l'urbanisation du quartier. La zone 1 concerne les rues et l'espace nord-est avec son réseau de canalisation et de drainage. Un vaste espace clos de murs est représenté par la zone 2. Il s'agit d'un espace vide de 1200 m², peut-être une place en terre battue, équipée d'un système de drainage très efficace afin d'éviter les inondations. Les données mises au jour dans la zone 3, juste de l'autre côté du *decunamus*, révèlent la construction d'un entrepôt avec la restitution d'un chai, d'un bassin, d'un atelier de taille de meule et de nombreux *dolia*[344]. La zone 4 correspond aux thermes dont s'équipe la ville dès le début de la phase 2, les données archéologiques récoltées concernent les secteurs d'eau chaude et froide ainsi que les secteurs de service jusqu'à la fin de la phase 4. L'Antiquité tardive, phase 5 (340 - 500 apr. J.-C.) semble être une période de réoccupation et de réutilisation des espaces, en particulier de l'édifice thermale, les autres zones sont petit à petit abandonnées (FIGURE 57 ; FIGURE 58).

[343] EXCOFFON 2015A, 80.
[344] EXCOFFON 2015 A ET B.

FIGURE 57 - Zones de fouille de l'école des Poiriers, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.

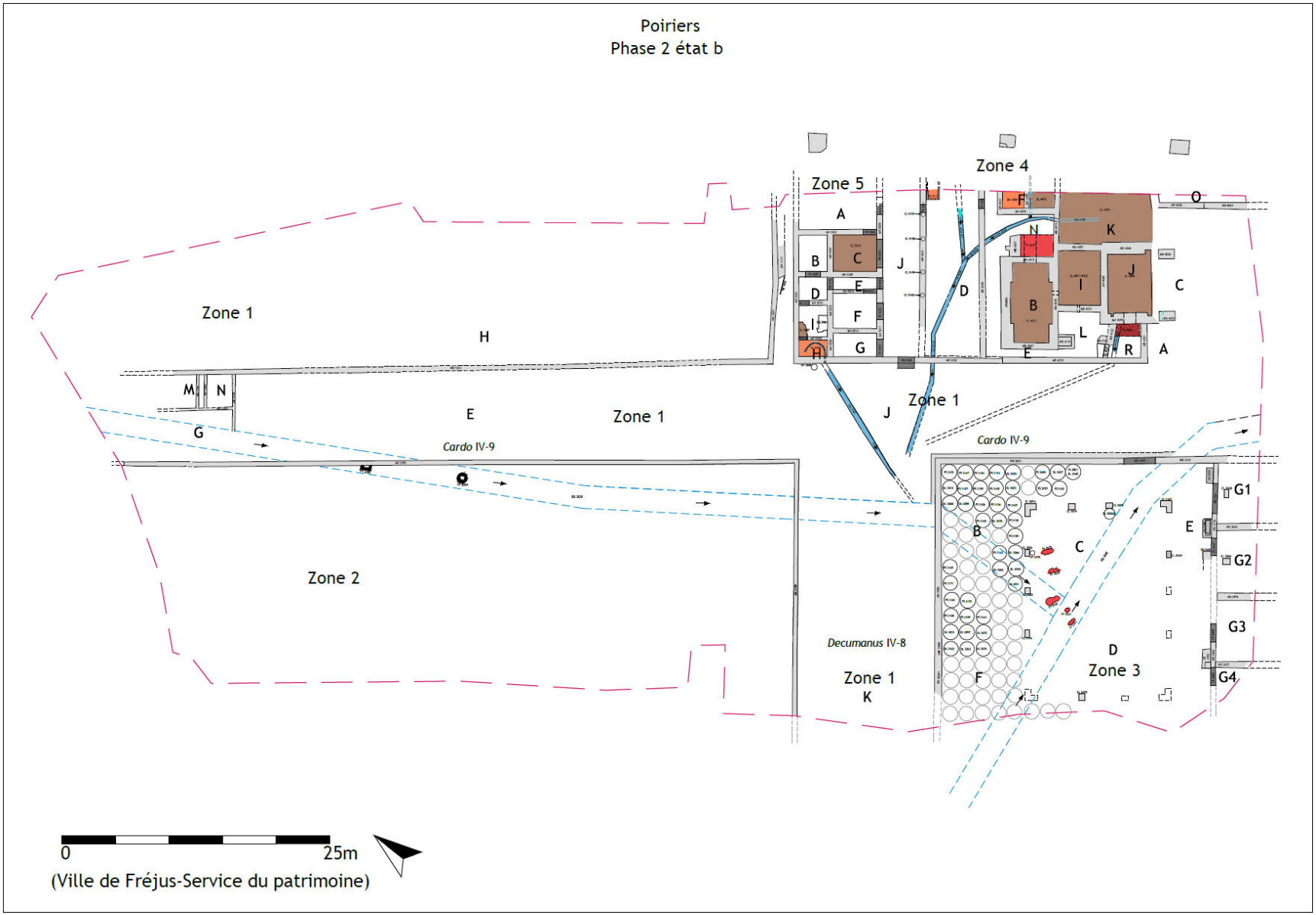
2. Contexte de l'étude

Au cours de la fouille en 2009, de nombreux prélèvements ont été effectués dans différents types de structures. Il s'agissait notamment d'échantillons en vue d'une analyse anthracologique : incinération, niveaux de sol, caniveau, comblement de fosse, foyers, fonctionnement de forges ainsi que des charbons contenus dans les vases de stockage.

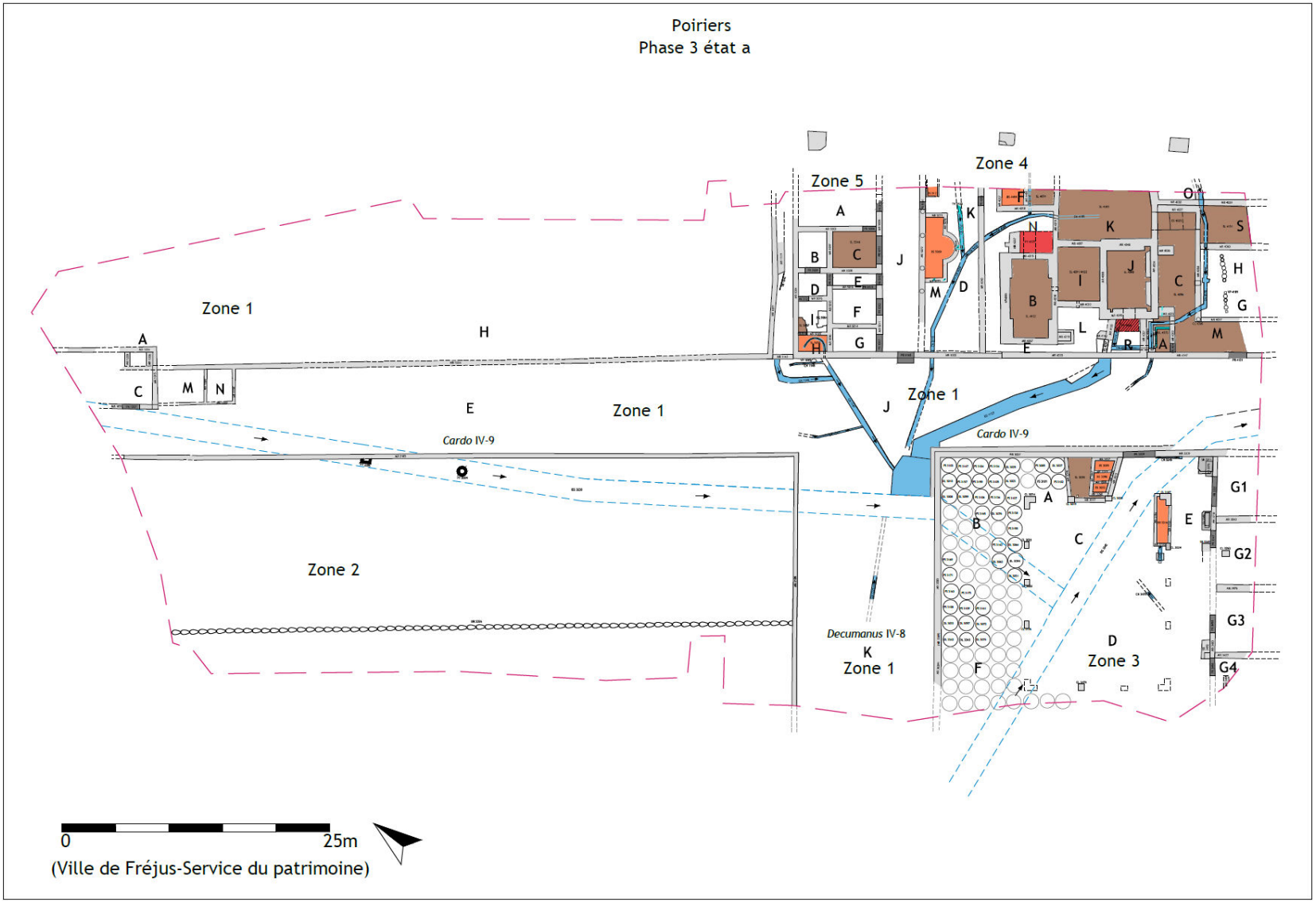
L'analyse s'est effectuée dans le cadre d'un contrat et visait à établir un premier état des lieux, particulièrement pour les essences présentes dans les niveaux de sol dans une perspective paléoenvironnementale, ainsi que la connaissance du bois usité dans certains foyers, comme ceux des thermes par exemple, en zone 4. Il n'a pas été possible d'être présente sur le terrain pour effectuer les prélèvements, mais les échantillons ont été prélevés diversement selon le type de structures. Les foyers, fosses, incinérations et autres comblements de vases ont été prélevés d'un seul tenant, afin d'obtenir un prélèvement plutôt exhaustif. Les sols quant à eux ont été échantillonnés rapidement (nord/sud/est/ouest) en raison du caractère préventif de la fouille. Mais cet échantillonnage ne s'est pas accompagné de l'implantation d'un carroyage, ce qui interdit une approche spatiale.

Cette étude de cas, sera présentée en particulier pour les bois issus des foyers. Ces derniers sont en effet archéologiquement mieux connus, prélevés exhaustivement et ainsi analysables. L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques est présenté dans le chapitre V[345].

[345] *Cf.* Chapitre IV, page 408 (foyers) et page 425 (forge).


Poiriers
Phase 2 état b
Zone 1
Zone 2
Zone 4
Zone 5
Zone 3
Cardo IV-9
Decumanus IV-8
0
25m
(Ville de Fréjus-Service du patrimoine)

a.



b.

FIGURE 58 - Plans phasés de la fouille archéologique des Poiriers avec relevé des structures découvertes (SAPVF). **a.** Phase 2b ; **b.** Phase 3a.

III. ANALYSES ENTOMOLOGIQUES APPLIQUÉES À L'ANTHRACOLOGIE OU LA XYLOLOGIE APRÈS ÉTUDES D'UN TIERS

A. LES REJETS D'UNE CUISINE À *CASSINOMAGUS*, CHASSENON, CHARENTE (IER SIÈCLE APR. J.-C.)

1. Présentation du site

Le site de *Cassinomagus* correspond à une agglomération gallo-romaine importante entre le Ier et le IIIe s. de notre ère. Le nom de *Cassinomagus* est connu par la *Table de Peutinger* et est située en bordure occidentale de la cité des Lémovices, soit à 41 km du chef-lieu, *Augustoritum* (Limoges, Haute-Vienne). Il s'agit pour l'heure de l'une des rares agglomérations secondaires importantes de la *civitas* connues (FIGURE 59)[346].

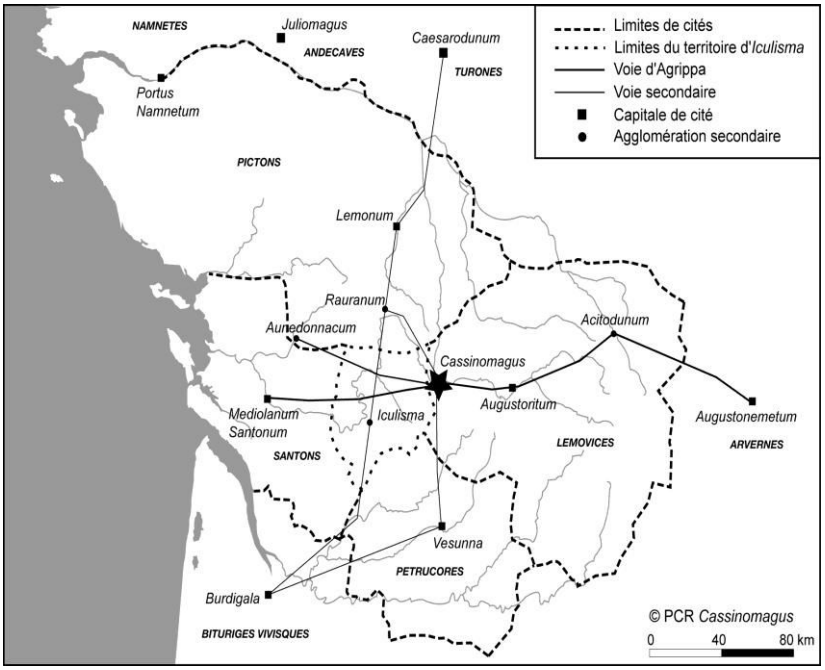


FIGURE 59 - Plan de localisation de *Cassinomagus* dans la cité des Lémovices © PCR Cassinomagus.

La bourgade de Chassenon est située en Charente dite Limousine, à la limite avec le département de la Haute-Vienne. Elle est implantée sur un plateau d'interfluve, culminant entre 220 et 240 m, bordé par la *Vienne* au nord et la *Grène* au sud. L'agglomération se trouve dans une zone d'interface entre les sols calcaires de l'Angoumois et les sols froids granitiques du Limousin. Son sous-sol est particulier à cette aire géographique, car formé par des brèches d'impact ou impactite, façonnées il y a 214 millions d'années suite à la chute d'une météorite[347] qui a fait fondre les roches en place[348].

Quoique moins littorale, la végétation actuelle se trouve dans la même dynamique que pour le site de Barzan (*cf. supra*). Hormis les champs cultivés et le bocage*, elle se compose de chênaies caducifoliées ainsi que de nombreuses espèces atlantiques et continentales (genêt, ajonc, charme, châtaignier, érable champêtre...) et parfois de quelques espèces méditerranéennes (chêne vert, arbousier, pin maritime...) sur les sols calcaires et secs.

346 HOURCADE *ET AL*. 2011.
347 Le cratère de 21 km de diamètre se situait entre Chassenon, Rochechouart, Babaudus et Montoume.
348 GRALL *ET AL*. 2015a et b.

Connue depuis le XIXe siècle, mais véritablement mise en évidence par des prospections aériennes et géophysique, l'étendue maximale de *Cassinomagus* est estimée à 140 ha. L'élément le mieux connu est l'ensemble monumental, de 20 ha environ, situé au sud-est du village actuel. Les voies de circulation ainsi que l'aqueduc, au sud, structurent l'espace. L'ensemble monumental se trouve dans la zone centrale de la ville et se compose du sanctuaire des Chènevières, des thermes de Longeas et de deux édifices interprétés comme des temples. On compte également des quartiers domestiques et artisanaux. Aux alentours de l'agglomération, plusieurs carrières et mines font également l'objet d'études et de recherche sur l'économie de la région pour la période romaine[349].

L'intérêt s'est porté sur l'opération menée en 2015. Cette dernière s'inscrit dans le cadre du PCR « *Cassinomagus*, l'agglomération et son ensemble monumental : chronologie, organisation et techniques », porté par Morgan GRALL[350]. Elle fait suite à deux campagnes menées sous la direction de Gabriel ROCQUE[351] en 2011 et 2012 au sud de l'ensemble monumental de *Cassinomagus.*

Celles-ci mirent en évidence un important carrefour de voies, d'environ 1600 m², longé par un bâtiment construit à la fin du Ier s. ou au début du IIe s. de notre ère. Il est traversé par un caniveau large de 45 cm environ qui rejoint celui bordant la branche secondaire de l'aqueduc. Dans la partie méridionale de cet édifice, une cour avait été identifiée, bordée sur ses trois côtés connus par une possible galerie périphérique. La campagne de 2015 avait pour objectif principal de dégager intégralement cet espace[352].

La cour intégralement dégagée offre un plan quadrangulaire de 16 x 14 m d'orientation nord-sud, soit 224 m² de superficie (FIGURE 60). Elle est bordée au nord et à l'ouest par une galerie, large en moyenne de 2,10 m. Lors d'un réaménagement de l'édifice, un tronçon oriental large de 1,70 m est ajouté, diminuant la superficie de la cour à 182 m². L'absence de sol construit au sein de celle-ci pourrait se justifier par l'existence d'un jardin, traversé par le caniveau vraisemblablement couvert de planches de bois.

FIGURE 60 - Vue générale des fouilles de 2015, cliché Th. DUQUEROIX, PCR *Cassinomagus.*

[349] POIRIER 2000 ; HOURCADE *ET AL.* 2011 ; GRALL *ET AL.* 2015a.
[350] Archéologue, assistant de Conservation au Conseil départemental de Charente durant l'opération.
[351] Archéologue départemental de Charente.
[352] GRALL *ET AL.* 2015a.

Sa localisation au sein de l'agglomération, son plan original, ainsi que la qualité des méthodes de construction employées (qu'il s'agisse du caniveau, des seuils ou des sols) et des décors enduits caractérisent un édifice d'une importance certaine. Bien que sa fonction ne soit pas encore clairement identifiée, l'hypothèse émise est celle d'un bâtiment semi-public semi-privé, peut-être administratif[353].

Une des premières phases d'occupation, connue dès 2011, se divise en deux états successifs : un premier concernant les creusements dans le substrat (trous de poteau, fossés) et leurs éventuels comblements d'origine anthropique (phase 01a), un second constitué de niveaux de colluvionnement les comblant partiellement ou scellant cette occupation. La phase 2 concerne un premier niveau de circulation et un mur de clôture, daté de la première moitié du Ier s. apr. J.-C. La phase 3 voit trois bâtiments être édifiés selon des caractéristiques techniques similaires. Les différentes couches associées à ces bâtiments ont posé l'hypothèse de constructions à vocation artisanale. Cette interprétation est particulièrement visible pour le bâtiment EA95, où ont été prélevés une dizaine de foyers, et où ont été fouillées des couches de dépotoirs livrant énormément de déchets de taille de roches décoratives ainsi que de nombreux objets métalliques liés à des activités de production, et des zones de rejets charbonneux (FIGURE 61). La phase 4 correspond à une occupation puis à un abandon de l'espace au cours de la fin du Ier s. de notre ère, où aucune construction majeure ou activité particulière ne semble s'installer dans cette zone.

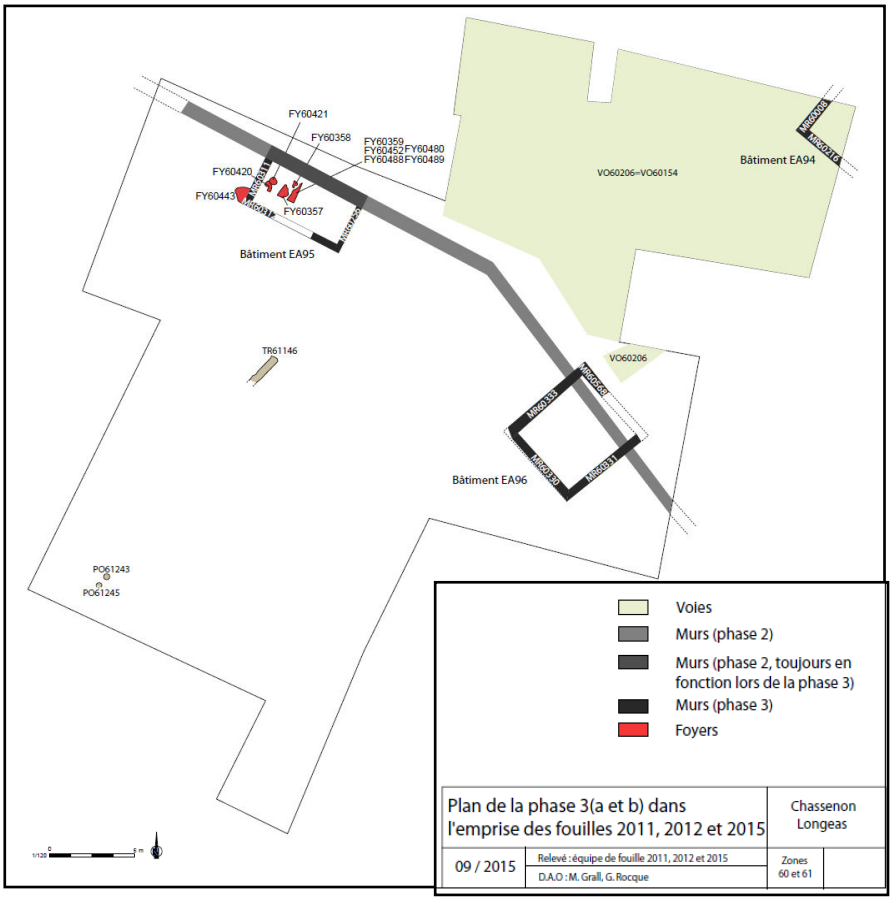


FIGURE 61 - Plan de la phase 3 dans l'emprise des fouilles 2011-2012 et 2015, tirée du RFO 2015, DAO M. GRALL et G. ROCQUE, PCR *Cassinomagus*.

La phase 5 est une des plus importantes phases d'aménagements et se situe à la fin Ier - début IIe s. apr. J.-C. Cette phase est caractérisée par la construction (phase 05a) et l'occupation (phase 05b) d'un grand bâtiment, réaménagé dans un second temps (phase 05c), et bordée par un important réseau de voirie.

353 GRALL *ET AL.* 2015a, 8-9.

Enfin, la phase 6 est en lien avec l'abandon, la destruction et la récupération qui intervient entre la fin du IIe et le IIIe s. apr. J.-C. Dans un premier temps, l'espace fait l'objet d'une récupération de matériaux de construction avant d'être définitivement abandonné dans un second temps.

2. Contexte de l'étude

L'analyse anthracologique effectuée pour ce dossier entre dans le cadre d'une expertise entomologique appliquée aux charbons archéologiques issus d'un rejet de foyer provenant du bâtiment décrit plus haut (EA95), daté de la phase 3.

Les investigations anthracologiques ont été réalisées courant 2016 par Christelle BELINGARD[354] qui a alors observé des traces d'insectes xylophages sur les charbons de bois. L'étude qui en a découlée avait pour objectif d'aider à l'interprétation de ce rejet de foyer et en parallèle de tester la méthodologie établie sur des charbons autres que de bois ouvragés. L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques est présenté dans le chapitre V[355].

B. LA FOUILLE INRAP DU COUVENT DES JACOBINS, RENNES, ILLE-ET-VILAINE (IER-IIIE SIÈCLE APR. J.-C.)

1. Présentation du site

À la suite des sondages de l'INRAP, effectués en 2007 et 2009, une fouille archéologique a été prescrite dans le couvent des Jacobins de Rennes, dans le cadre du projet d'urbanisme de Rennes-Métropole. La fouille s'est étalée entre l'automne 2011 et l'automne 2013, pour un total de 19 mois de terrain. Ce projet visait à transformer l'ancien couvent en centre des Congrès (FIGURE 62).

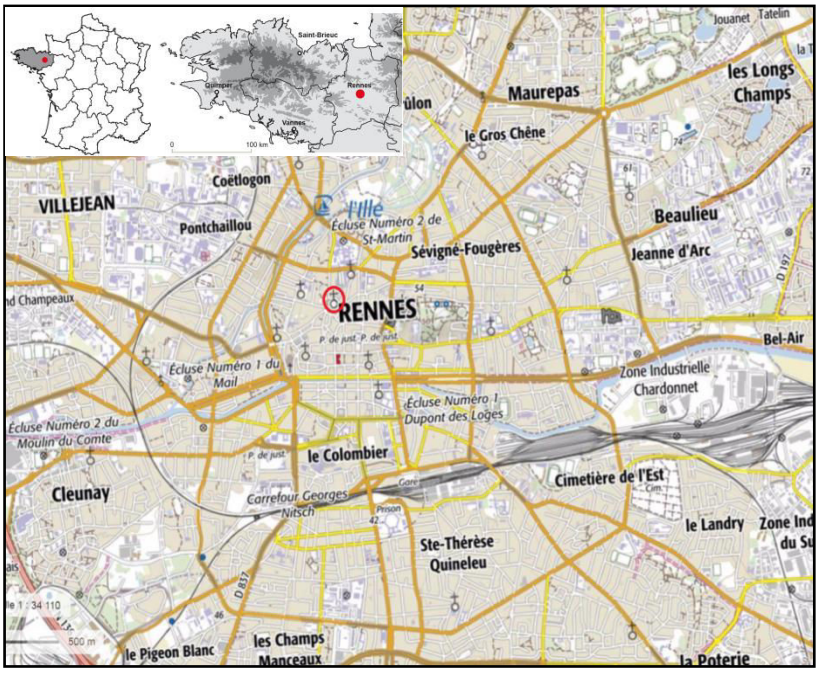
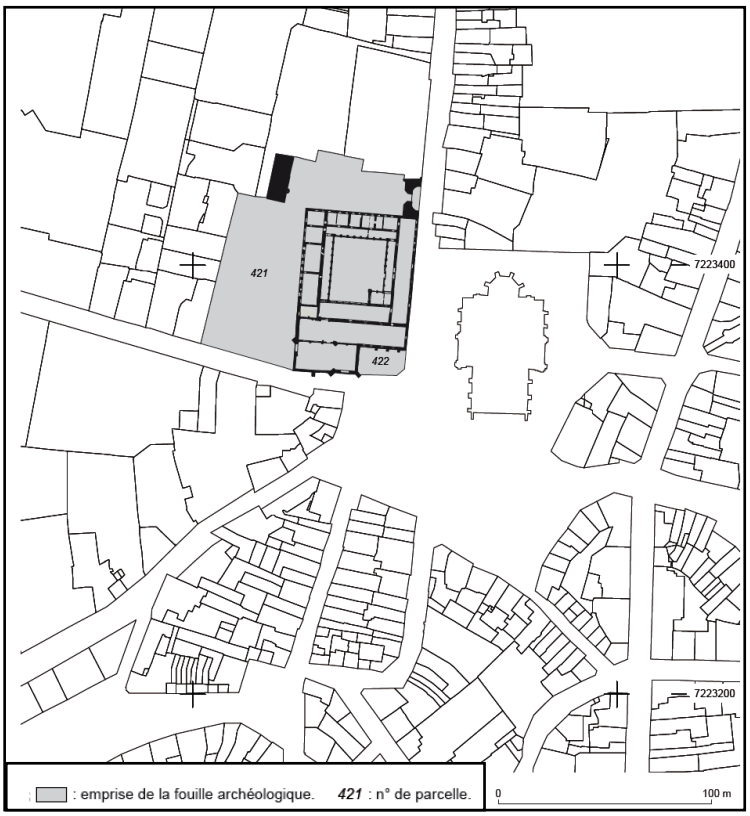


FIGURE 62 - Plan IGN de localisation de la zone de fouille, Les Jacobins, ©INRAP.

[354] Chercheure associée au GEOLAB (UMR 6042), Chargée d'études en dendrochronologie, dendrologie et anthracologie.
[355] *Cf.* Chapitre V, page 403.



Les diagnostics montraient d'ores et déjà que l'implantation des travaux se situait dans un secteur fortement urbanisé de la ville antique de *Condate*. La fouille a confirmé ce fait par la mise au jour de trois îlots proches du centre-ville. Ces îlots marquent des axes importants pour l'ensemble de l'agglomération pour l'époque Romaine (FIGURE 63).

FIGURE 63 - Implantation de la fouille du couvent des Jacobins sur le cadastre, tirée du RFO 2016, v.1, ©INRAP.

La végétation actuelle aux alentours de Rennes, outre le bocage, est majoritairement continentale avec toutefois des influences atlantiques avec des espèces hygrophiles. D'une manière générale, des chênaies-hêtraies composées de chênes sessiles, tauzins et pédonculés, et de hêtres, accompagnées de châtaignier, d'alisier, de bouleau, tilleul et de charme. Il existe également des landes non littorales avec des genêts, de la callune, des bruyères et des ajoncs. Pour les périodes anciennes et le massif Armoricain, notamment le Néolithique qui rassemble bon nombre de données, la végétation est marquée par des proportions notables de saules et de bouleau et de faibles proportions en pins, genévrier et noisetier qui vont fluctuer avec le temps. Entre les années 1350-250 av. J.-C., le noisetier et l'aulne se confirment tandis que le tilleul, le chêne, l'orme et le frêne diminuent progressivement. Entre 250 av. et 475 apr. J.-C., c'est l'inverse : le noisetier et l'aulne diminuent tandis que les essences précédemment évoquées, en particulier le hêtre, tendent à se réaffirmer et à se développer[356].

Durant l'Antiquité, les habitations qui se développent durant le Ier et le IIe s. apr. J.-C. à *Condate*, sont essentiellement à pans de bois.

La fouille du couvent des Jacobins, sous la direction de Gaëtan LE CLOIREC[357], ainsi que le rapport qui en résulte sont très importants en termes de quantité de données avec 12 volumes de textes, de planches et d'études pluridisciplinaires.

L'intérêt de ce dossier porte sur les bois carbonisés d'un quartier central de *Condate,* daté de la période antique[358]. Toutes les autres informations relatives à la fouille, des sépultures notamment, n'entrent pas en ligne de compte dans ce travail, mais peuvent toutefois être consultées dans les différents volumes du rapport. Ce quartier, mis au jour, est composé de

356 DAVID 2014.
357 Ingénieur de recherche, l'INRAP, spécialiste de la période antique.
358 LE CLOIREC (DIR.) 2016B ET C.

trois îlots encadrés par un système de voirie (*cardo* et *decumanus*) (FIGURE 64). La connaissance de l'emprise de ces dernières était l'un des premiers objectifs des investigations archéologiques[359].

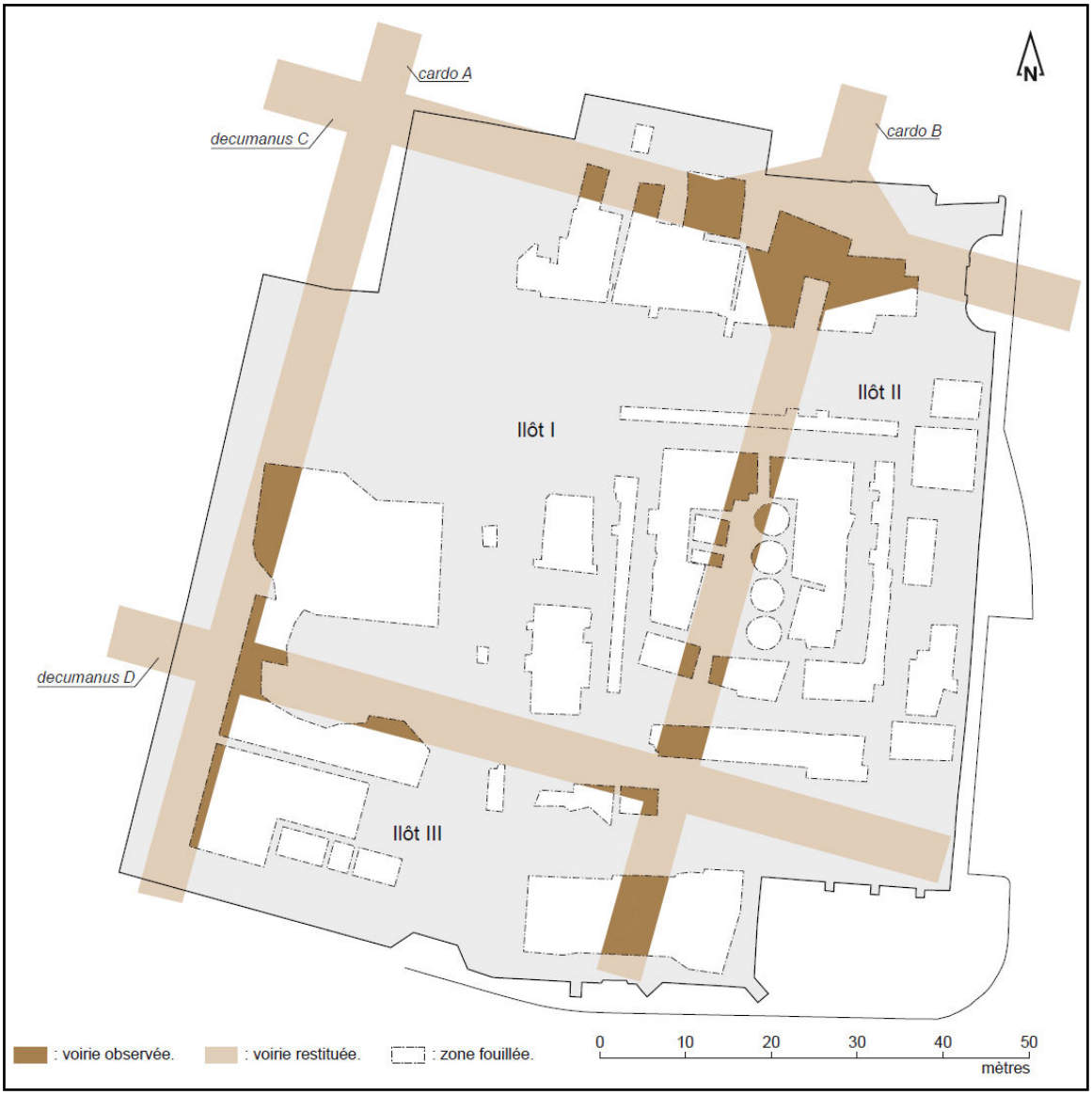


FIGURE 64 - Plan d'organisation générale du quartier antique, tirée du RFO 2016, Vol. 2, 202. © Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

L'îlot 1, de 60 m sur 48,5 m, est délimité par les quatre rues découvertes au cours de la fouille. De par les aménagements plus tardifs du couvent, l'îlot n'a pas pu être entièrement étudié. Ainsi, trois zones de fouille ont été principalement mises au jour au sein de la cour nord, dans le réfectoire et dans le jardin du cloître. Divers aménagements, particulièrement des fosses (phase 1) et des murs (à partir de la phase 2) ont été observés. De modestes rejets de foyers contenant des battitures et des scories témoignent d'une activité métallurgique dans le secteur. Les deux autres îlots se trouvent en limites de fouille, leurs dimensions sont délicates à exploiter.

Le quartier antique se décompose en cinq phases d'occupation distinctes :

[359] LE CLOIREC 2016A.

La première phase, datée du début du Ier s. apr. J.-C. correspond à une période d'installation de la trame urbaine antique, notamment par le nivellement du terrain, sa division avec quelques installations sur poteaux, un puits et une palissade (îlot 2), des fossés et des foyers (îlot 1)[360].

Un essor de l'urbanisme entre les années 40 et le milieu du IIe s. est attesté par les réaménagements successifs tels que des comblements, constructions, extensions, remaniement à l'intérieur de certains bâtiments. Une activité métallurgique est attestée dans l'îlot 1 et dans l'îlot 2. D'importants remblais au niveau de la voierie ainsi que la mise en place d'une chaussée sont le témoignage d'un aménagement durable du quartier. Plusieurs structures de chauffe ont été observées dans les îlots 1 et 2. Les constructions implantées dans le quartier sont construites en pans de bois, appuyées sur des sablières basses posées au sol. Certains bâtiments (ou « unités ») font environ 12 à 20 m² tandis que d'autres forment des ensembles plus imposants (FIGURE 65 a)[361].

La phase 3 semble être une phase de destruction pour l'îlot 1, avec notamment un incendie, visible sur une dizaine de bâtiments, au cours du milieu du IIe s. apr. J.-C. pour les trois îlots. Les îlots 2 et 3, quant-à-eux avant l'incendie comprenaient plusieurs constructions et de fours (îlot 2). Une évolution de la voierie et des caniveaux pour l'évacuation des eaux affectent le carrefour des rues puis les bâtiments. Les techniques de construction pour certains bâtiments, évoluent également avec l'utilisation de la maçonnerie notamment pour les soubassements sous les sablières (FIGURE 65 b)[362].

Durant le IIIe s. apr. J.-C., ont lieu des aménagements et réaménagements des sols avec des reconstructions. Le quartier évolue de manière importante. Un nouvel édifice, composé d'un podium et d'une salle sur hypocauste (hypothèse d'un bâtiment public à vocation cultuelle), est construit sur l'îlot 2. L'îlot 1 aussi se dote de constructions importantes mais moins monumentales (FIGURE 65 c)[363].

Enfin, la phase 5 (à partir de la fin du IIIe s.), équivaut à un déclin du quartier visible par des démolitions partielles ou totales, notamment de certains bâtiments de l'îlot 3, d'un portique dans l'îlot 1 ainsi par un incendie dans l'îlot 2 et des reprises de matériaux. À partir du IVe s., le quartier semble être à l'abandon (FIGURE 65 d)[364].

2. Contexte de l'étude

L'analyse entreprise pour ce site entre dans le cadre d'une expertise entomologique appliquée aux charbons de bois ouvragé ou provenant de structure de construction. Les investigations anthracologiques ont été réalisées dans le courant de l'année 2016 par Hélène SEIGNAC[365] qui avait remarqué la présence éventuelle d'insectes xylophages sur des échantillons carbonisés (planchers et sablières) des phases III et V.

[360] LE CLOIREC *ET AL*. 2016C, 702-703.
[361] LE CLOIREC *ET AL*. 2016C, 703-708.
[362] LE CLOIREC *ET AL*. 2016B ; C, 709-712.
[363] LE CLOIREC *ET AL*. 2016C, 714-717.
[364] LE CLOIREC *ET AL*. 2016C, 717.
[365] Ingénieure d'étude, INRAP, CReAAH, Campus Beaulieu, Rennes ; SEIGNAC 2016 *in* LE CLOIREC *ET AL*. 2016D, 2127.

Les bois des Jacobins constituent un corpus de bois antiques carbonisés, correspondant à des éléments ouvrés. Cette étude repose sur un corpus de 13 prélèvements anthracologiques, analysés et étudiés sous l'angle entomologique appliqué à la xylologie dont les résultats sont détaillés dans le chapitre IV[366].

FIGURE 65 - Plan schématique du site : **a**. phase 2 ; **b** : phase 3 ; **c** : phase 4 ; **d** : phase 5 ; tirées du RFO 2016, Vol. 3 © Gaétan LE CLOIREC.

[366] *Cf.* pages 204.

C. Le bûcher funéraire au lieu-dit « Maison-Blanche - Champ Roche » de la ZAC des Montels III, Cébazat, Puy-de-Dôme (IIe siècle apr. J.-C.)

1. Présentation du site

Située à environ six kilomètres de Clermont-Ferrand, ancienne capitale des Arvernes appelée *Augustonemetum*, le site de la commune de Cébazat a été attesté par des travaux d'aménagements au lieu-dit « Maison-Blanche - Champ Roche ». C'est au sein de la zone d'activité commerciale des Montels III qu'a été réalisée une fouille d'archéologie préventive d'environ cinq mois, menée par Éveha sous la direction d'Hervé Delhoofs[367, 368], dans le courant de l'année 2015 (Figure 66).

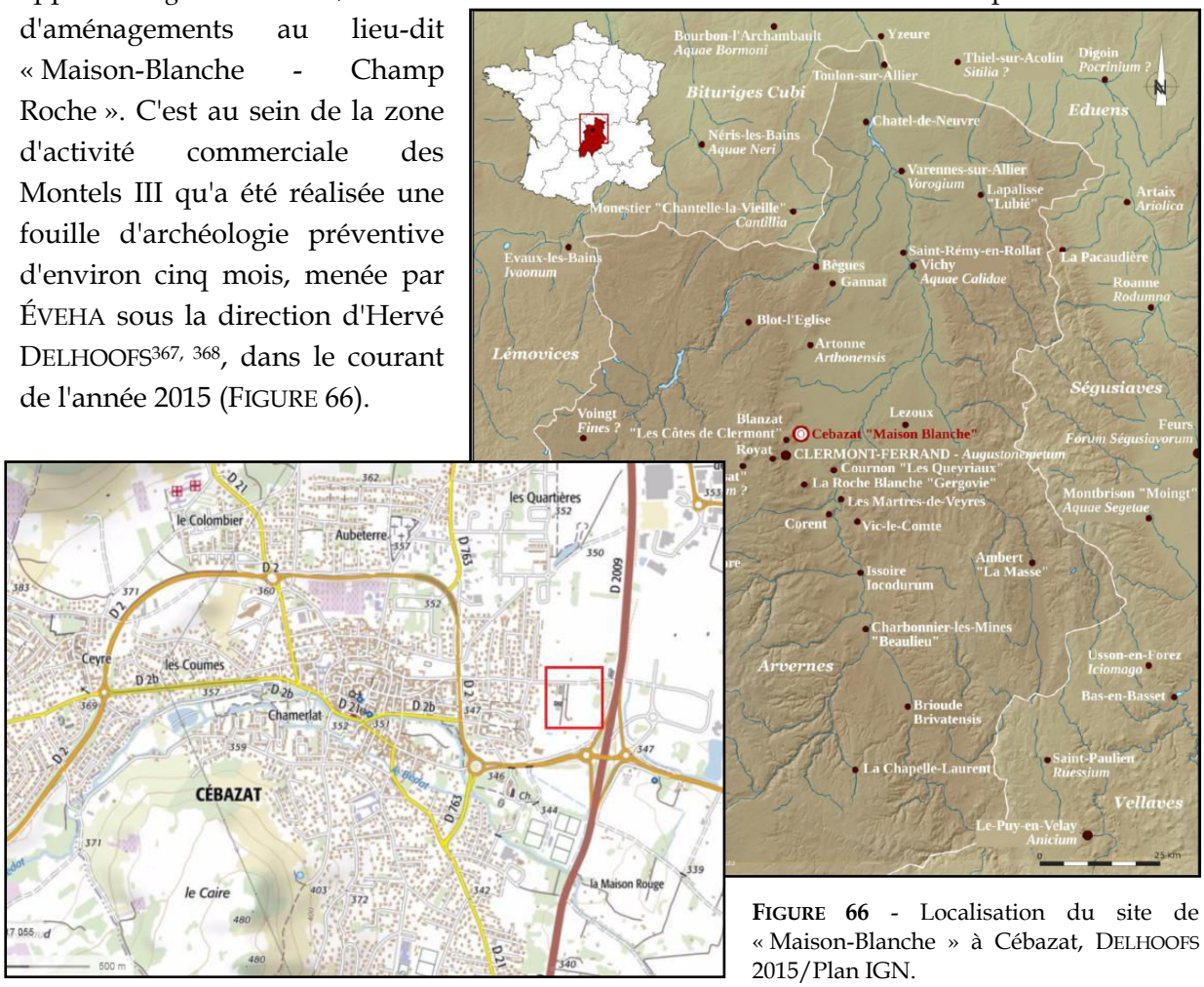


Figure 66 - Localisation du site de « Maison-Blanche » à Cébazat, Delhoofs 2015/Plan IGN.

La végétation actuelle aux alentours de Clermont Ferrand dépend, comme dans les Alpes et les Pyrénées, de l'altitude avec en majorité des étages de plaines (500 m, Limagne d'Issoire), collinéens (jusqu'à 900 m) et montagnard. Les arbres les plus répandus sont le chêne pubescent, sessile et pédonculé, le chèvrefeuille, églantier, noisetier, sorbier, alisier et quelques pins sylvestres et noirs, hêtre et sapin pour les hauteurs. En lisière de forêt, il est possible de voir notamment du frêne et de l'érable. Dans les landes, fougères, genêt, callune sont des espèces fréquemment rencontrées. Enfin, il existe des espaces ouverts liées aux pâturages des montagnes volcaniques et aux bocages.

[367] Responsable d'opération chez Éveha (chercheur associé à l'UMR 5138 ArAr, Université Lumière – Lyon 2 ; ArchéoTek).
[368] RFO en cours.

Les investigations ont mis en évidence, sur environ 4,5 ha, des zones d'habitations, des zones funéraires ainsi que des équipements cultuels de type enclos et temple. À l'époque romaine, l'habitat s'organise à la manière d'un village routier. Les recherches menées tendent vers l'hypothèse d'un *vicus* périphérique à *Augustonemetum* (FIGURE 67)[369].

Pour la période gauloise de la fin du IIe s. au Ier s. av. J.-C., un vaste établissement gaulois a été attesté comprenant une zone funéraire et une d'habitat. La première forme un secteur au sud du site, marqué par un petit enclos carré, trois fosses vraisemblablement à crémation et par dix-sept dépôts sacrificiels de chiens. La deuxième est située plus au nord et également constituée d'un enclos, où ont pu être installés plusieurs aménagements sur poteaux.

Entre le Ier et le IIIe s. apr. J.-C., c'est un sanctuaire de 600 m² en bordure de voie romaine (8 m de large pour 70 m de long) qui fut construit. En parallèle, l'habitat reprend la même trame urbaine que précédemment, en ce qui concerne les voies et chemins entre les différents bâtiments. À la différence que pour cette phase, les habitations peuvent être soit maçonnées, soit sur poteaux porteurs. La notion de gestion de l'eau pour l'agglomération est particulièrement présente, notamment par la mise au jour de près de vingt-cinq puits et d'un aqueduc à canalisation drainante[370]. Enfin, plusieurs ensembles funéraires à inhumations et crémations sont répartis sur diverses zones du site, ainsi qu'une nécropole en bordure de la zone d'habitat. C'est un des bûchers funéraires de cette phase qui est traité pour ce dossier : le bûcher 2426.

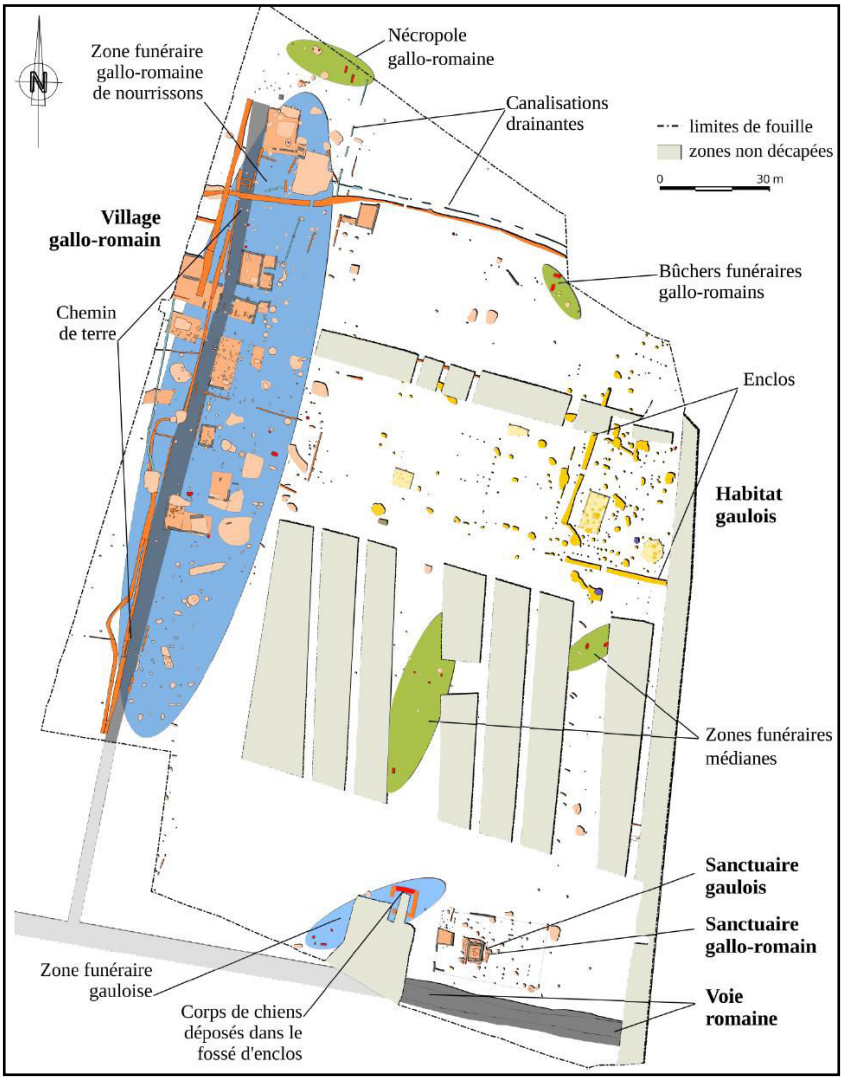


FIGURE 67 - Plan général du site de « Maison Blanche » à Cébazat.

[369] DELHOOFS 2015.
[370] DELHOOFS 2015, 11.

2. Contexte de l'étude

Les charbons de bois provenant du bûcher funéraire 2426 ont fait l'objet d'une étude anthracologique effectuée par Valentina BELLAVIA[371], qui y a observé de nombreuses traces carbonisées d'insectes xylophages.

L'objectif de notre collaboration était de tester la méthode établie précédemment sur les bois issus d'un bûcher funéraire, afin d'aider à l'interprétation si cela était possible, notamment en s'interrogeant sur le type de bois employé dans la construction d'un bûcher (bois mort, bois vert, bois de réemploi...). L'ensemble des résultats anthracologiques et entomologiques est présenté dans le chapitre V[372].

D. LE COMBUSTIBLE DU FOUR À CHAUX DANS « LE THÉÂTRE » DE CHÂTEAUBLEAU, SEINE-ET-MARNE (IVE SIÈCLE APR. J.-C.)

1. Présentation du site

La commune de Châteaubleau se situe au sud-est de la forêt de la Brie, bas plateau situé entre la *Seine* et la *Marne* dont l'altitude varie entre 100 et 250 m. La région, ainsi que la commune, est irriguée par un important réseau hydrographique : le *Surmelin*, le *Petit Morin*, le *Grand Morin*, le *ru de Sainte-Anne* et l'*Yvron*, un affluent de l'*Yerres*.

Le site archéologique se développe à l'est de la commune actuelle au lieu-dit *Le Haut Chemin* (FIGURE 68). Une première occupation a été attestée par des objets lithiques, tels que des pointes de flèches, dès le Mésolithique ainsi qu'un développement au Néolithique final. Pour la protohistoire, très peu de traces archéologiques ont été observées. L'hypothèse étant que les structures devaient être en bois. Néanmoins, quelques tessons de céramiques attestent d'une population locale.

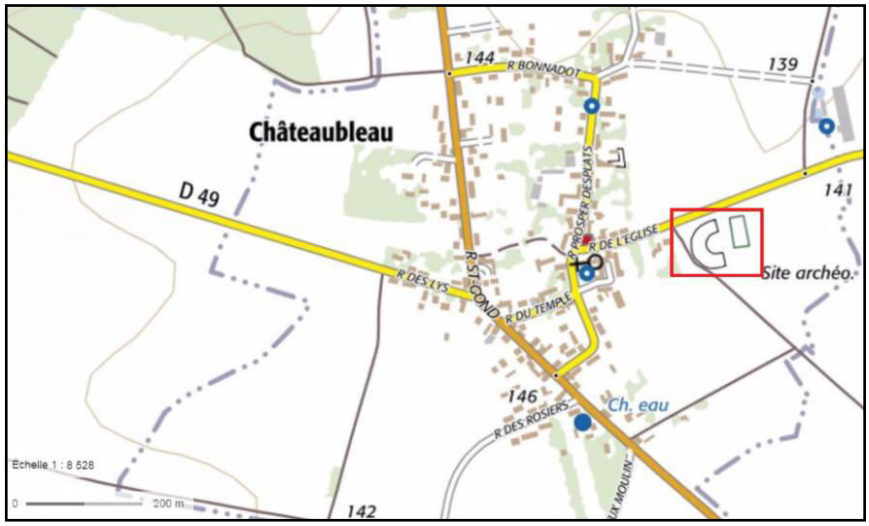


FIGURE 68 - Plan IGN avec localisation de la fouille du théâtre de Châteaubleau.

[371] Anthracologue/xylologue, Geolab UMR 6042, Université Clermont Auvergne.
[372] *Cf.* Chapitre IV, page 397.

Au Ier s. apr. J.-C., l'agglomération se développe en même temps que la construction de la *Via Agrippa* reliant Boulogne-sur-Mer à Lyon et passant par Châteaubleau. L'agglomération ne s'agrandit véritablement qu'au IIe siècle apr. J.-C. Les fouilles menées sur l'agglomération antique ont révélé plusieurs phases d'occupation, notamment entre 29 av. J.-C. jusqu'à 180 apr. J.-C., puis au Bas-Empire (IIIe et IVe s.). Plusieurs monuments ont été construits à cette époque et occupés jusqu'au IVe siècle tel qu'un sanctuaire composé de plusieurs temples gallo-romains ou « *fana* », situé en bordure ouest du théâtre (recherches menées notamment par Francis PARTHUISOT). Le théâtre, associé à l'ensemble cultuel central, fut identifié en 1858. Enfin, trois quartiers d'habitations distincts ont été repérés gravitant autour du sanctuaire[373].

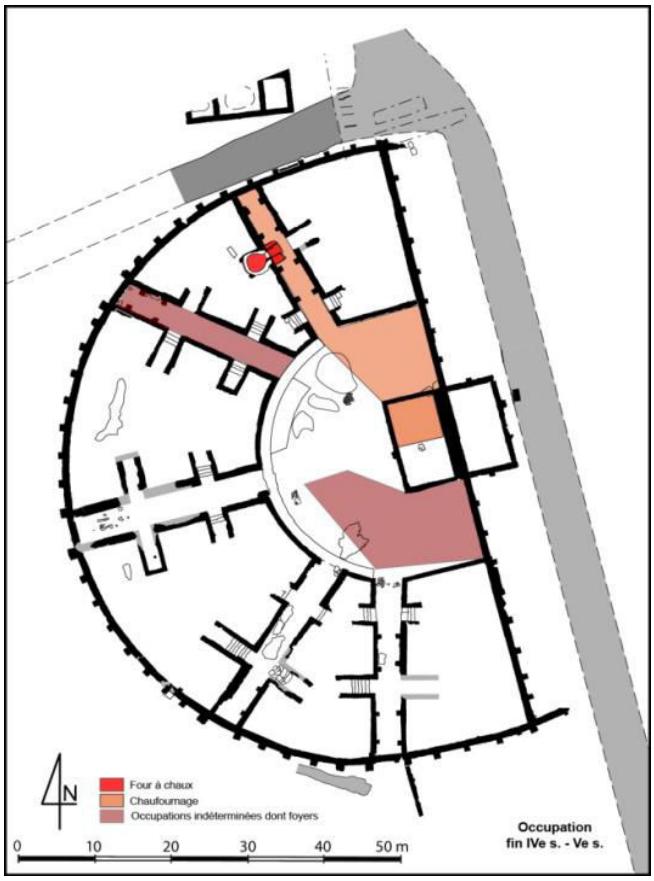
Le climat de type océanique participe au développement d'une végétation riche composée de futaie et de taillis. Les essences majoritaires sont le chêne pédonculé et sessile, accompagnées en second plan, du frêne et de charme. Sur sol très acide, en rebords de plateaux et sur les hauts de versants, se développent des chênaies et des hêtraies-chênaies, associées à du hêtre, bouleau, frêne, sorbier, callune, chèvrefeuille, châtaignier et à du peuplier tremble, et plus rarement accompagnées (sols neutres) de noisetier, de tilleul, de frêne, d'orme, de la ronce des bois et du néflier. Sur les versants et les replats calcaires, se développe une hêtraie-chênaie accompagnée d'érable champêtre et de charme. À proximité des cours d'eau et dans les fonds de vallons marécageux se développe une aulnaie ou une aulnaie-frênaie accompagnée de saules, de viorne obier, de noisetier, de groseillier et de la Ronce des bois[374].

Les premières recherches sur les vestiges antiques du village de Châteaubleau datent du Second Empire (1852-1870). Diverses campagnes de fouilles s'enchaînent entre 1963 et 1987, enrichissant les connaissances des vestiges d'habitats et du théâtre. Depuis 1961, les recherches sont menées par l'association de la Riobé[375]. En 2005, un programme de recherche consacré à l'étude scientifique pluridisciplinaire de ce site antique a été rédigé par Fabien PILON[376] et Paul VAN OSSEL[377].

Pour ce dossier, l'intérêt porte principalement sur le secteur du théâtre de Châteaubleau et plus particulièrement d'un four à chaux construit dans l'enceinte même du théâtre. Ce dernier a été identifié par Victor BURIN en 1849 alors qu'il était en cours de démantèlement pour fournir de la pierre calcaire des murs extérieurs comme matière première. Depuis 1951, de nombreuses opérations, sondages et fouilles programmées ont été menées sur le monument (FIGURE 69). Celui-ci a été construit vraisemblablement au cours du IIe s. apr. J.-C. et est en forme d'un demi-cercle outrepassé de 80 m de diamètre. Les gradins étaient desservis par cinq allées munies de quatre escaliers permettant l'accès au niveau supérieur. Le mur extérieur se voit parer de contreforts. L'hypothèse d'un premier théâtre antérieur est

373 PILON 2015.
374 Py 2015 *in* PILON 2015, 386-387.
375 L'Université Paris Ouest – Nanterre – La Défense et l'équipe « Gaule et Monde antique » de l'UMR 7041 ArScAn.
376 Docteur, ArScAn – Archéologie de la Gaule et du Monde Antique (GAMA), UMR 7041. Association de la Riobé.
377 PILON 2015, 16.

en cours d'étude. Une réoccupation civile dont le four à chaux est un indice se précise pour la période du IVe siècle[378].



Le four à chaux, à gueule haute, à flamme longue et à calcination continue, comme on en trouve beaucoup dans le Midi et en Méditerranée[379], a été implanté dans la cage d'un des escaliers d'accès aux gradins du théâtre. Sa mise en œuvre implique une phase de construction à une époque tardive, très mal documentée par l'archéologie. D'un diamètre intérieur de 2,45 m, et d'une profondeur de 2,52 m, sa paroi est une composition mixte de matériaux en terre cuite et de pierres. La datation du four est estimée à la fin du IVe siècle apr. J.-C[380].

FIGURE 69 - Plan général du théâtre avec localisation du four à chaux étudié (en rouge), tirée de PILON 2015.

2. Contexte de l'étude

Les charbons de bois provenant du foyer de combustion ou « cendrier » du four à chaux (US 4070, 4071 et 4074) ont fait l'objet d'une étude anthracologique effectuée par Vanessa PY[381], qui y a observé de nombreuses traces carbonisées d'insectes xylophages et d'hyphes de champignons[382].

Le but de notre collaboration était d'observer et d'interpréter les traces de xylophages sur les charbons d'une structure artisanale en appliquant la méthode qui a été mise au point précédemment[383]. En 2011, lors de son étude Vanessa PY a tenté d'interpréter ces indices.

[378] PILON 2015, 25-29.
[379] VASCHALDE *ET AL.* 2010 ; PY 2011.
[380] PY 2011, 3-4 ; PILON 2015, 154.
[381] Archéobotaniste, chargée de recherche CNRS (CR1), GEODE (UMR 5602, CNRS), Toulouse.
[382] PY 2011, 16.
[383] *Cf.* Chapitre II, pages 84.

IV. LES COLLECTIONS DES MUSÉES ET D'INSTITUTIONS

Cette dernière partie englobe principalement des objets archéologiques en bois qui sont aujourd'hui conservés dans des musées, au SRA basé à Rennes (Campus Rennes 1) ou qui étaient, au moment de l'analyse, en cours de restauration. Il s'agissait d'effectuer une série de tests méthodologiques d'expertise entomologique sur des objets pouvant être exposés au public. L'intérêt de ces échantillons porte principalement sur les questionnements en lien avec les traitements du bois et de la conservation du patrimoine ligneux après la phase de fouille archéologique[384].

Le détail des différents sites et de leurs contextes archéologiques ne peut pas être totalement présenté ici dans la mesure où d'une part, les objets étudiés proviennent de fouilles anciennes et d'autre part, certains cas concernent des recherches d'une large chronologie dépassant le cadre de la thèse. Ces objets, décontextualisés et isolés, ne bénéficient malheureusement que d'une documentation très lacunaire et parfois difficile d'accès. La maîtrise des prélèvements et les analyses d'identification ligneuse n'ont pu être assurées par l'auteur.

1. Les objets restaurés par Arc'Antique

a. Présentation du laboratoire

Créé en 1989 à l'initiative du Conseil Général, le laboratoire de conservation, restauration et de recherche du patrimoine Arc'Antique est situé à Nantes. Il s'agit d'une structure scientifique et technique, composée d'une douzaine de spécialistes, ayant pour vocation la restauration des objets archéologiques et des objets d'art, principalement autour de plusieurs domaines : les métaux, la céramique, les matériaux organiques comme le bois, les os, les tissus ou le cuir, et plus largement des objets issus de fouilles sous-marines.

La restauration des objets organiques est menée par Gwenaël LEMOINE qui procède au nettoyage, à l'imprégnation au peg, au séchage par lyophilisation, puis à la restauration proprement dite (collage, conditionnement).

L'opportunité d'observer des objets en bois fraîchement restaurés ou en cours de restauration s'est présentée au début du travail de thèse. L'objectif était d'analyser les éventuelles traces d'insectes xylophages sur des objets du quotidien provenant des sites archéologiques de la période gallo-romaine et ainsi de s'interroger sur la pertinence de ces résultats par rapport à ceux obtenus sur des structures en bois ouvragé, carbonisé ou non.

L'étude s'est déroulée directement au sein du laboratoire Nantais, hormis pour quelques objets, dont une exposition était en cours de réalisation[385], qui ont été observés entre les murs du SRA Bretagne à Rennes 1 avec l'accompagnement de Véronique GENDROT.

[384] *Cf.* Chapitre I, page 73.
[385] Exposition de Jublains.

b. Les sites étudiés

- La porte-Allain (Trégueux, Côtes-d'Armor)

Le site de la porte-Allain, localisé sur la commune de Trégueux, a fourni de nombreux objets en bois gorgés d'eau datés entre l'âge du Fer jusqu'au Ie s. apr. J.-C. La restauration effectuée par Gwénaël LEMOINE, l'analyse xylologique menée par Nima SAEDLOU[386] et l'analyse entomologique réalisée pour ce travail, portaient sur 60 ensembles d'éléments de seaux et tonneaux en bois (fonds, couvercles et douelles*) du Ier apr. J.-C. provenant de plusieurs puits[387].

- Les fouilles anciennes d'Alésia (Alise-Sainte-Reine, Côte-d'Or)

Les découvertes en matériaux organiques d'Alésia qui étaient en cours de restauration par Arc'Antique en 2015, proviennent de découvertes anciennes, faites entre 1906 et 1958.

C'est Claude GRAPIN, conservateur en charge des collections d'Alésia au MuséoParc Alésia qui a souhaité faire restaurer ces objets et qui a accepté que soient observées d'éventuelles traces d'insectes. L'intérêt de cette étude de cas, dans le cadre de ce travail, est que les bois ont été traités à l'arsenic dans les années 1950 pour des raisons sanitaires (infestation des objets archéologiques par des insectes). La difficulté de l'observation est accrue pour ces objets car ces derniers une fois mis au jour, ont été laissés à l'air libre séchant ainsi naturellement, ce qui les a considérablement abîmés (déformations et fissures).

De plus, il est difficile d'obtenir un contexte général de fouille, mis à part le fait qu'il s'agit d'objets mis au jour dans des puits. Toutefois, il reste des journaux de fouille à disposition ainsi qu'un travail de mémoire de maîtrise sur les puits antiques d'Alésia des années 1960. L'ensemble d'éléments étudiés correspond à un lot d'éléments de seaux en bois (fonds et douelles en bois, éléments en fer), ainsi qu'un ensemble de fragments de boîtes (fonds, parois, couvercles) issus de deux puits fouillés en 1934 et 1936.

2. Les objets des réserves de Musées

Comme dans le cas des objets restaurés par Arc'Antique, les objets en bois de l'époque gallo-romaine conservés dans les réserves du Musée Dobrée à Nantes et du Carré Plantagenêt au Mans, ont été observés.

Le musée départemental Thomas-Dobrée, couramment appelé musée Dobrée est un musée situé dans le centre-ville de Nantes appartenant au conseil départemental de la Loire-Atlantique. Les objets conservés proviennent de fouilles anciennes et de legs au Musée dans les années 1882. L'analyse s'est effectuée au sein de la réserve avec une loupe binoculaire et la possibilité de prélever à l'aiguille d'éventuelles vermoulures. Il a été observé un coin en bois provenant d'Abbaretz, daté entre le Ier et le IIIe s. apr. J.-C., ainsi que des éléments de seaux issus (Ier s.-IVe s. apr. J.-C.) du site des Cléons fouillé entre 1882 et 1900 par Félix CHAILLOU. Le mobilier a été observé avec l'accompagnement de Camille BROUCKE (Responsable du pôle

[386] Xylologue, gérante de XYLOTREE depuis 2014.
[387] SAEDLOU 2011.

conservation), Chrystelle QUEBRIAC (Régisseuse des collections) et de Nicole LEMOINE (Responsable du Centre de Documentation.).

Le Musée d'archéologie et d'histoire du Maine, ou Carré Plantagenêt, est un musée situé dans la ville du Mans, dans le quartier Saint-Nicolas, proche du secteur centre. Il a été inauguré le 19 juin 2009. À l'emplacement de l'actuel musée, s'élevait en 1256 un couvent fondé sous Saint-Louis. Il était destiné à la communauté des « Filles pénitentes » du couvent des Filles-Dieu. Ruiné à la fin du XIIIe siècle par un conflit local, il est par la suite complètement détruit lors de la Guerre de Cent ans. Sous le couvent, des investigations archéologiques en 1982 (fouille urgente de sauvetage) ont également mis au jour des vestiges de la ville gallo-romaine. Quelques objets en bois, notamment des planches et des bardeaux, restaurés en 1998 par l'entreprise UTICA[388], provenant de cette fouille de 1982 ont été expertisés pour ce dossier avec l'accompagnement de Julie BOUYET[389].

[388] Unité de traitement et d'information en conservation archéologique.
[389] Attachée de conservation du patrimoine et responsable du musée.

CONCLUSION

Le corpus d'étude a été élaboré au fil du cursus universitaires et professionnels. Il résulte de nombreux contacts, de recherches et d'opportunités scientifiques sur différents sites répartis dans toute la France (FIGURE 70). Il faut rappeler que le bois est une matière périssable et le bois d'œuvre, plus particulièrement pour les périodes anciennes, n'a été que peu étudié. Ainsi, la difficulté réside dans l'existence, la compréhension et l'acquisition minutieuse du matériel nécessaire pour effectuer les analyses souhaitées. De plus, la méthodologie de prélèvement de ce type de vestige n'est pas toujours connue ou appliquée selon les contextes archéologiques ou les conditions de travail sur le terrain. Il a donc fallu être opportuniste dans le choix des sites à étudier et surtout dans l'acquisition des données.

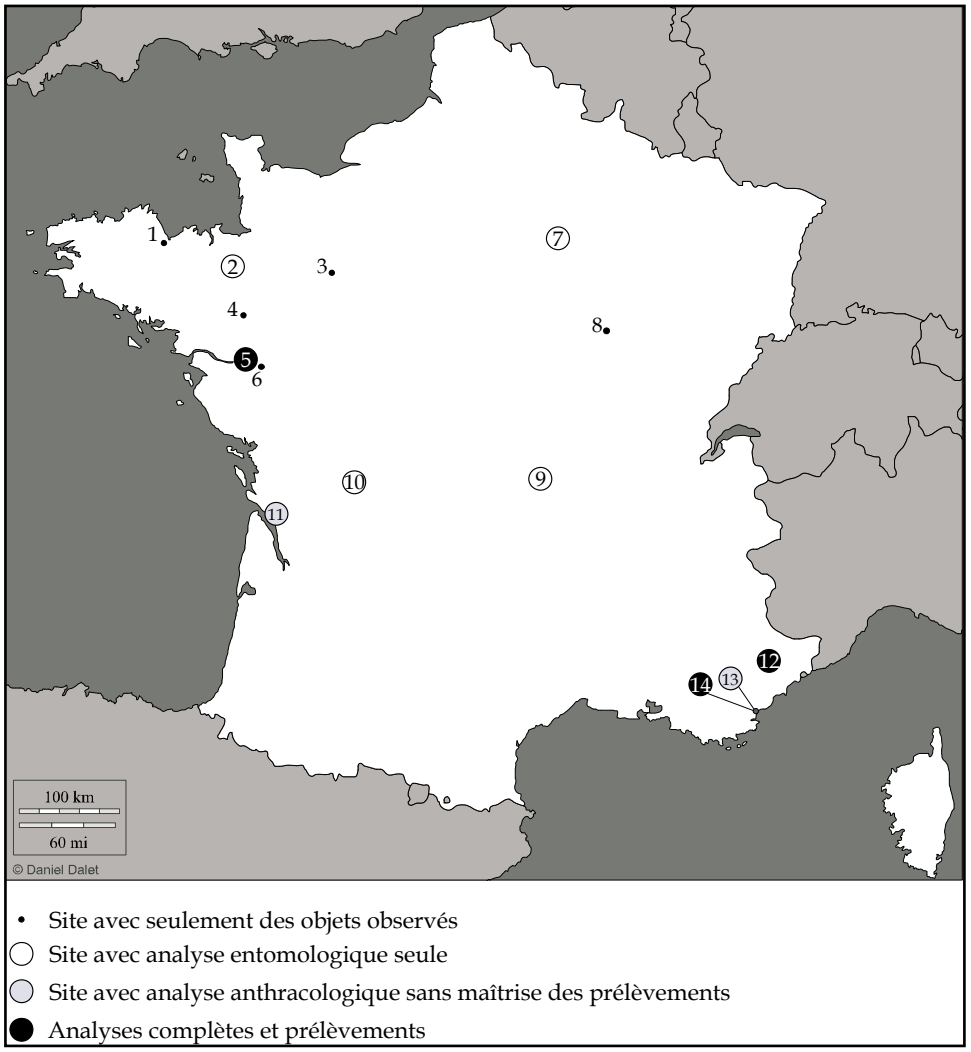
La chronologie des sites étudiés s'étend de la deuxième moitié du IIe s. av. J.-C. au IVe s. apr. J.-C., la majeure partie tournant autour du Ier s. apr. J.-C. Le choix des différents cas n'a pas obéi à des critères précis autres que la disponibilité du matériel et sa datation antique (FIGURE 71).

Les sites du couvent des Jacobins (Rennes), de l'îlot Camelin (Fréjus), le four de Rezé et celui de Châteaubleau, les foyers de Chassenon et des Poiriers (Fréjus) et le bûcher funéraire de Maison-Blanche (Cébazat) ont livré des échantillons de bois carbonisés. Les autres sites archéologiques et les objets de collection présentent quant à eux, des bois gorgés d'eau qui nécessitent l'application des méthodes d'analyse xylologique. L'opportunité d'étudier ce type de matériel s'est certes présentée, mais elle a aussi conduit à étendre la méthodologie de reconnaissance des vermoulures et des galeries sur du bois frais[390], ce qui représente un objectif méthodologique supplémentaire.

Dans le but de tester la méthodologie de reconnaissance des galeries d'insectes xylophages, des analyses ont été réalisées sur des bois autres que du bois d'œuvre ou travaillé. Ces cas sont traités dans le Chapitre V. C'est le cas principalement pour les sites de Maison-Blanche (Cébazat), des Poiriers (Fréjus) et de Châteaubleau. L'idée est de détecter l'éventuelle utilisation de bois d'œuvre en réemploi dans certaines structures et surtout de voir si la méthode est opérationnelle ou non. Dans l'éventualité d'une réponse négative, il convient de l'adapter pour d'autres bois ou charbons de bois, généralement de plus petite taille et issus de divers contextes (funéraire, four...).

En définitive, l'hétérogénéité du corpus était essentielle à la faisabilité du projet, notamment pour mettre en place et appliquer la méthodologie de l'entomologie sur les bois gorgés d'eau ou carbonisés. Cette hétérogénéité constitue même un atout car les sites étudiés sont très variables de par leur localisation et leur nature (types d'objets ou de structures) et offrent ainsi une diversité de résultats plus importante pour le bois (essences, provenance) et pour les insectes (habitats, familles, types d'attaque). Cette diversité offre des possibilités de comparaisons plus intéressantes. C'est grâce à cette diversité que la méthodologie de reconnaissance des traces d'insecte a progressé jusqu'à atteindre son état actuel. Les cas spécifiques à chaque site ont aidé à l'élaboration et à l'adaptation de la méthodologie : exploration de certaines familles d'insectes, traces indéterminées, différentiation des traces taphonomiques et des traces archéologiques, *etc*[391].

[390] *Cf.* Chapitre II, page 97.
[391] *Cf.* Chapitre IV, Chapitre V, et Synthèse générale.



N°	Site	Commune	Dépt.	Type
1	La porte-Allain	Trégueux	22	objets
2	Couvent des Jacobins	Rennes	35	bois d'œuvre
3	Filles-Dieu	Le Mans	72	objets
4	Abbaretz	Abbaretz	44	objets
5	Rezé - Quartier Saint-Lupien	Rezé - Nantes	44	bois d'œuvre/ four
6	Les Cléons	Haute-Goulaine	44	objets
7	Châteaubleau - Le Théâtre	Châteaubleau	77	four
8	Alésia	Alise-Sainte-Reine	21	objets
9	Maison blanche -Champ Roche	Cébazat	63	bûcher funéraire
10	*Cassinomagus*	Chassenon	16	foyer
11	Le Fâ	Barzan	17	bois d'œuvre
12	Le col d'Adon	Les Mujouls	06	bois d'œuvre
13	Les Poiriers	Fréjus	83	foyer
14	Îlot Camelin	Fréjus	83	bois d'œuvre/ fours

FIGURE 70 - Carte de localisation des sites archéologiques étudiés et correspondance des numéros attribués pour les sites archéologiques. Source carte ©Daniel DALET/ DAO ajouts M. TORITI.

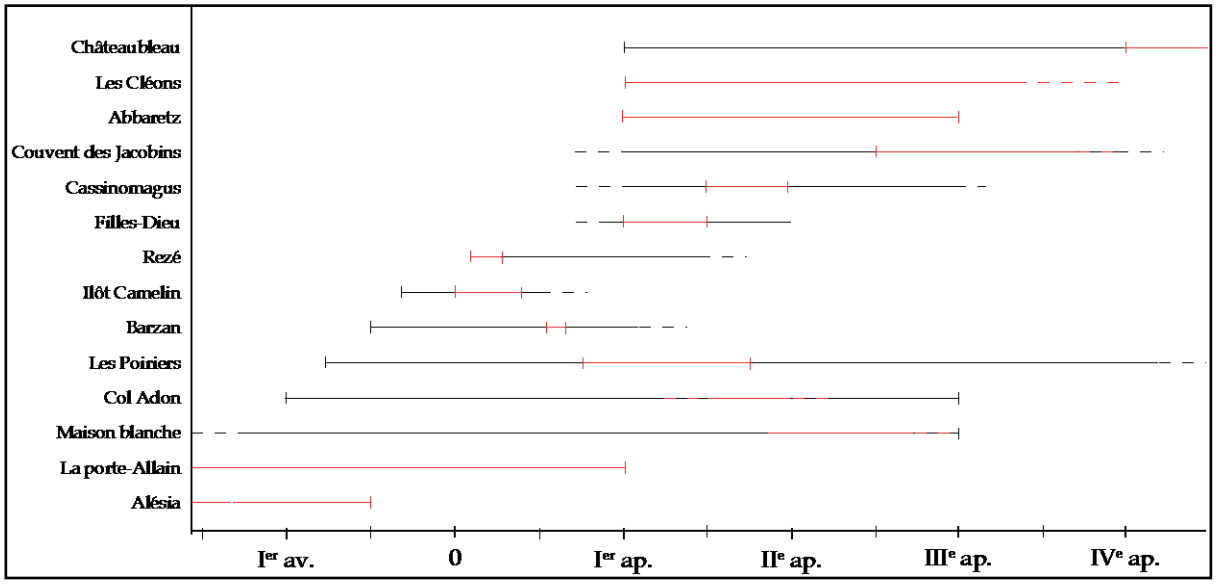


FIGURE 71 - Chronologie générale des sites étudiés, avec en rouge, les phases auxquelles appartiennent les structures ou objets analysés. DAO M. TORITI.

CHAPITRE IV

L'ÉTAT SANITAIRE DES BOIS OUVRAGÉS : ÉTUDES DE CAS

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, les analyses et les observations anthracologiques et entomologiques des bois ouvragés du corpus sont détaillées. Il s'agit des sites et des structures qui concernent le bois travaillé tel que des planchers ou des restes de charpente. Les autres types de bois comme les fours et les bois issus d'un contexte funéraire se trouvent dans le Chapitre V.

Afin que la méthode développée dans le chapitre II puisse illustrer son potentiel d'interprétation, il a été choisi de ne présenter les études de cas, ni par chronologie, ni par région, mais plutôt par taux et variété d'infestation. Car l'objectif est de voir, site par site, dans quelles mesures les données acquises sur les infestations enrichissent les interprétations archéologiques et anthracologiques traditionnelles.

Ainsi, ce chapitre débutera par l'étude du plancher des entrepôts de Barzan dont les bois ne présentent que très peu de traces d'attaques par des insectes xylophages : moins de 1% de l'ensemble des bois. Vient ensuite le site des Jacobins, qui a un bon potentiel d'informations avec près de 22 % d'infestation. Le site rural préalpin du col d'Adon a un peu plus de 27% de ses bois qui sont infestés. De plus, il s'agit d'un site où la maitrise des prélèvements a été possible. Les bois gorgés d'eau du site de Rezé sont un cas un peu à part. En effet, ils sont proportionnellement moins infestés que ceux du col d'Adon et des Jacobins avec un taux d'infestation de 4,46 %, mais il a toutefois été décidé de le présenter aussi loin dans l'argumentation en raison de la diversité des espèces représentées. Les conséquences interprétatives engendrées par ces espèces qui n'avaient pas encore été rencontrées jusque là, ainsi que par le contexte archéologique, font de cette étude un cas d'école. Le chapitre se termine sur les bois carbonisés du site urbain de l'îlot Camelin, pour lequel, en plus de son taux d'infestation général (plus de 37 %), la maitrise du terrain et de l'analyse était présente du début à la fin de la fouille et de la post-fouille. Ainsi, la compréhension des vestiges et des données entomo-anthracologiques sont plus maitrisées.

Pour chacune des études de cas, la première partie concerne la présentation archéologique des structures et/ou des pièces de bois étudiés : localisation de la structure au sein du site, contexte de découverte, contexte archéologique, mesures générales, présentation des éventuels tests dendrochronologiques, schéma de la structure, *etc*. La deuxième partie présente les résultats bruts anthracologiques ou xylologiques et entomologiques. Afin d'avoir une lecture facilitée, les structures sont traitées individuellement dans l'ordre des numéros d'US. Les tableaux de détails des observations des charbons de bois se trouvent en Annexe 6[392] et le catalogue des pieux observés sur le site de Rezé correspond à l'Annexe 7[393]. Enfin, la dernière partie expose les interprétations archéologiques pour chaque structure (ou pièce), enrichies par les résultats obtenus via l'entomologie.

[392] *Cf.* Volume II, Annexe 6, page 159.
[393] *Cf.* Volume II, Annexe 7, page 247.

I. Le plancher carbonisé du quartier des entrepôts de Barzan, le Fâ (70-110 apr. J.-C)

A. Données archéologiques : présentations des échantillons

Lors de la conduite des opérations de fouille entre 2003 et 2008[394], une structure carbonisée (US 40552) a été mise au jour au sein des entrepôts antiques de Barzan (Figure 72). Ces derniers se composent de plusieurs pièces ou caves, entourant une cour centrale. La cour, dégagée sur 486,20 m², est parsemée de trous de poteau, de sablières basses, et d'aménagements de tuiles et de pierres, de caves, de fosses, de cuve à chaux et de deux murs au sud[395]. Les portiques qui séparent la cour centrale des bâtiments environnants fournissent une datation entre 10 av. J.-C. et 40 apr. J.-C. Tandis que les caves à l'intérieur de la cour centrale sont datées de 150/220 apr. J.-C., permettant d'envisager un comblement dans la première moitié du IIIe siècle.

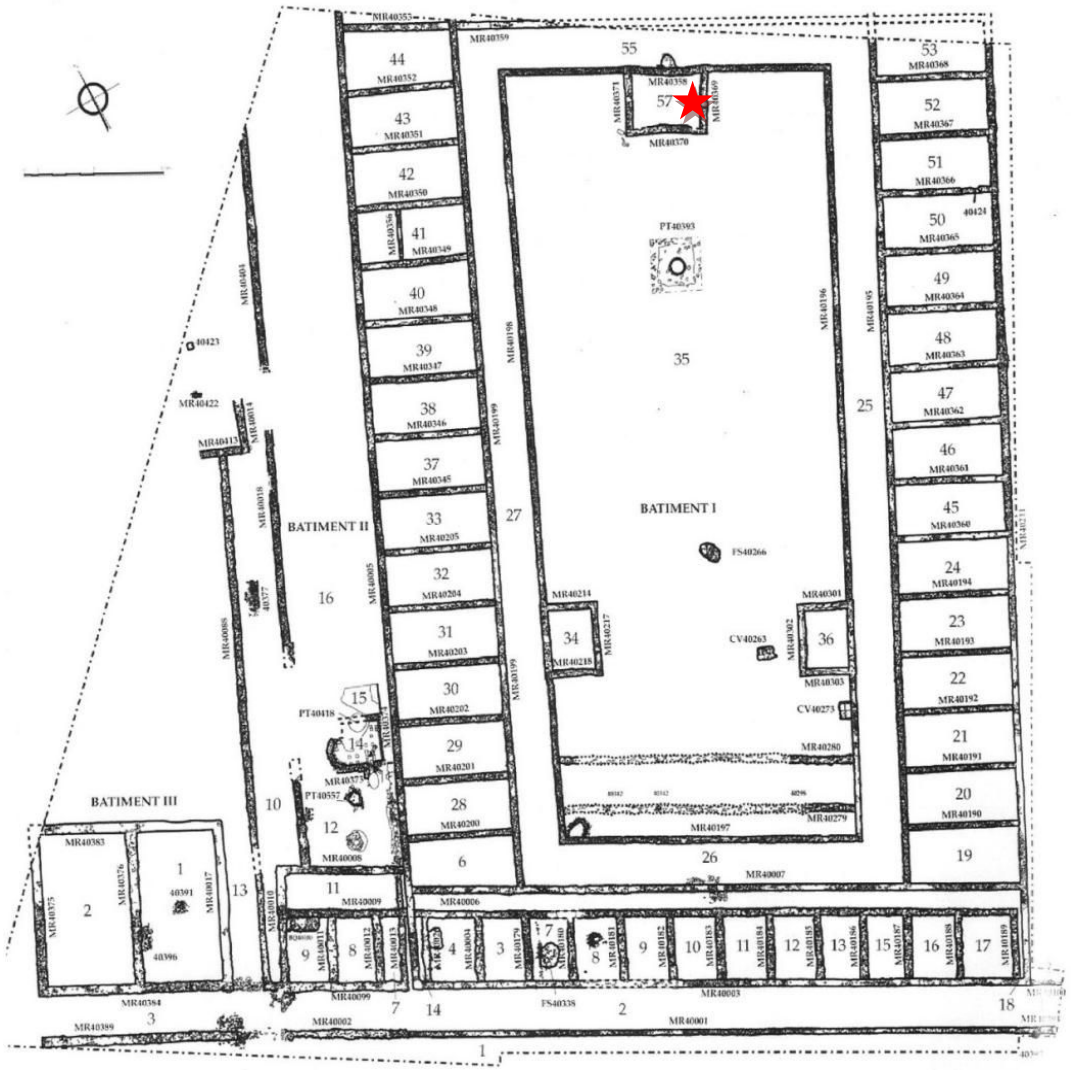


Figure 72 - Plan général des entrepôts et localisation (étoile) de la cave 57, tiré de Bouet *et al.* 2004.

394 *Cf.* Chapitre III, page 163.
395 Bouet *et al.* 2005, 96.

L'US 40552 correspond au comblement d'une citerne (Cave 57) faisant 14 m² pour environ 2,8 m de profondeur. La structure, constituée d'une poutre ou d'une bûche au centre de l'espace et de planches situées autour de cette dernière, a été prélevée dans son intégralité avec un carroyage de 50 sur 50 cm (FIGURE 73). La destruction est datée de la deuxième moitié du IIe s. apr. J.-C. Le carroyage de l'unité stratigraphique 40552 se compose de 80 échantillons anthracologiques, qui ont auparavant bénéficié d'un tamisage par flottation réalisé par L. HERVEUX[396], en vue d'une étude carpologique qui s'est révélée infructueuse. Ce même carroyage a été utile, lors de la fouille, pour l'obtention d'échantillons entomologiques en vue d'analyses menées par Ph. PONEL[397] qui se sont, elles aussi, révélées négatives. Il est à noter, en revanche, que d'autres secteurs ont fait l'objet d'une étude archéoentomologique également menée par Ph. PONEL[398], notamment des entrepôts.

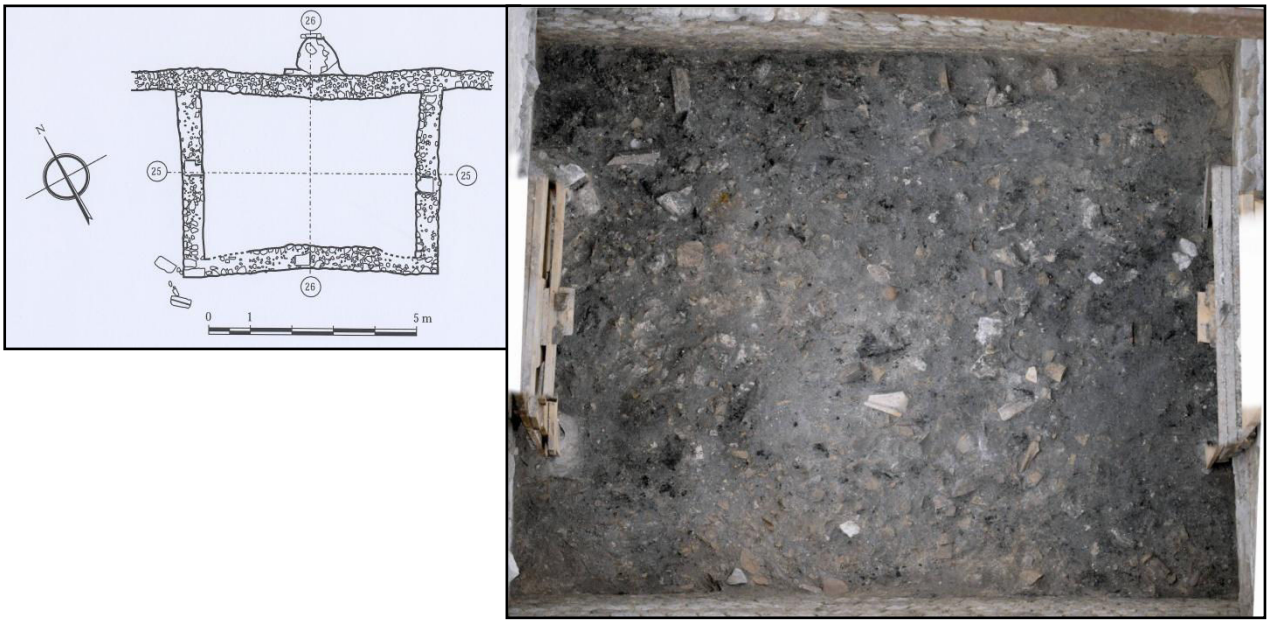


FIGURE 73 - Photo zénithale et plan de la cave 57, cl. A. BOUET.

B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES

1. Analyse anthracologique

Parmi les 80 échantillons composant la structure carbonisée 40552, 30 ont été analysés (FIGURE 74). La sélection des carrés s'est effectuée de manière aléatoire pour ne pas influencer les résultats[399].

Pour l'ensemble de l'analyse, un total de cinq taxons sur 1591 charbons de bois observés a été recensé. Certains carrés ne contenaient que peu de charbons (moins de 60 fragments). En ce qui concerne la particularité des bois, on constate que la vitrification est présente mais

[396] Archéobotaniste, post-doctorante, Archéorient, post-doc Orient et Méditerranée UMR 8167.
[397] Paléoentomologiste, I.M.E.P., UMR 6116, C.N.R.S.
[398] BOUET (DIR.), monographie sous presse.
[399] CHABAL 1997 ; *cf*. Chapitre II, pages 85.

reste à un stade modérée[400]. De même, la calcification est visible mais n'altère pas la lisibilité des caractéristiques taxonomiques. Les thylles, ou « maladie de l'encre », sont un phénomène qui affecte en particulier les chênes, notamment les chênes à feuillage caduc, mais qui peut aussi être observé sur d'autres essences de feuillues telles que la bruyère arborescente (*Erica arborea*)[401]. Tous les fragments de chêne observés pour ce site possèdent des thylles, en particulier les fragments de chêne à croissance lente (ou vieux bois).

L'ensemble de la structure est représentée par 98,55 % de chêne. Un peu moins de 58 % des fragments ont été identifiés plus précisément grâce aux caractéristiques anatomiques, comme étant du chêne sessile ou pédonculé[402]. 41 % restent identifiés en tant que chêne F. C. Seul 10 fragments de hêtre (*Fagus sylvatica*), soit 0,63 % de l'ensemble ont été identifiés dans le carré 48 (extrémité sud de la structure). Enfin, un fragment indéterminable est présent (0,06 %) en raison d'une vitrification trop importante au sein du carré 62 (FIGURE 74 ; TABLEAU 11 ; TABLEAU 12).

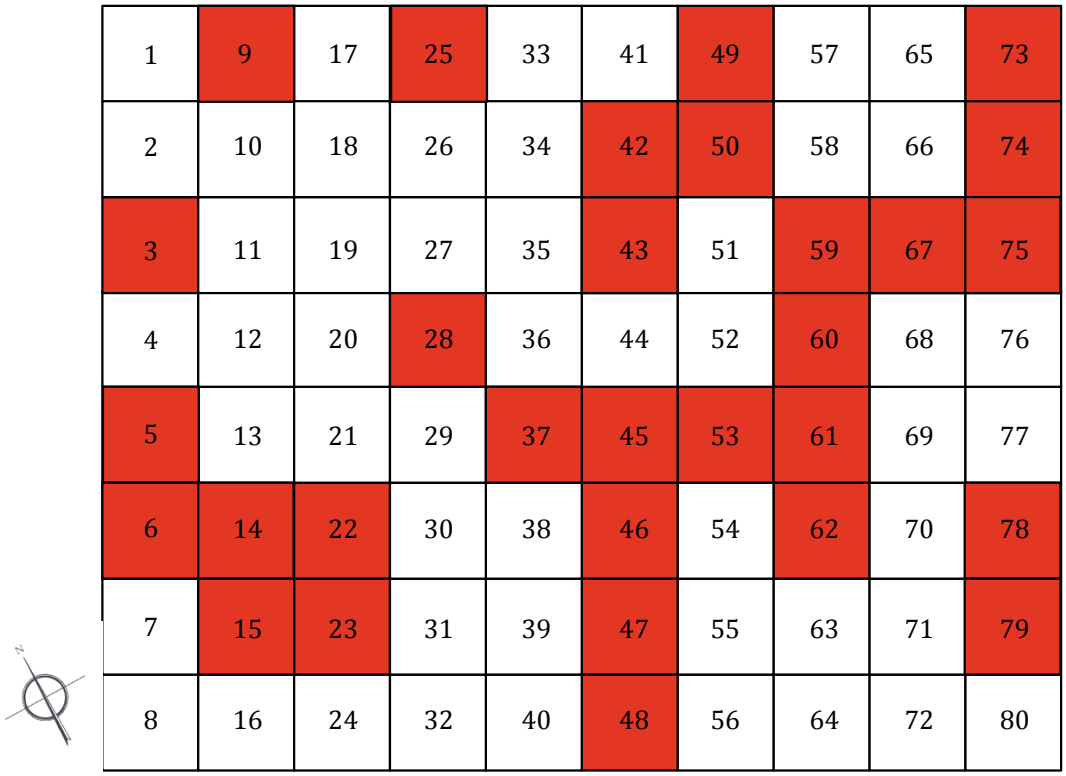


FIGURE 74 - Plan du carroyage de la structure 40552 et sélection (en rouge) des prélèvements analysés.

[400] *Cf.* Chapitre II, pages 91.
[401] DURAND *ET AL.* 2010.
[402] Tailles importantes des pores du bois initial (+ de 250 µm de diamètre) et présents sur deux à trois rangées ; *cf.* Annexe 1 page 31.

Taxons	*Fagus sylvatica*	*Quercus*	*Quercus* FC	*Quercus* FC *sessiliflora*/ *Q. pedonculata*	Angiosperme indéterminable	**Total**
40552	10	2	659	909	1	1591
Total en %	**0,63**	**0,13**	**41,42**	**57,13**	**0,06**	**100**

TABLEAU 11 - Tableau général des taxons présents au sein de l'US 40552.

Taxons	*Fagus sylvatica*	*Quercus*	*Quercus* FC	*Quercus* FC *sessiliflora*/ *Q. pedonculata*	Angiosperme indéterminable	**Total**
Carré 3	0	0	2	58	0	**60**
Carré 5	0	0	17	43	0	**60**
Carré 6	0	0	23	7	0	**30**
Carré 9	0	0	18	2	0	**20**
Carré 14	0	0	23	0	0	**23**
Carré 15	0	0	12	48	0	**60**
Carré 22	0	0	60	0	0	**60**
Carré 23	0	0	54	6	0	**60**
Carré 25	0	0	26	4	0	**30**
Carré 28	0	0	12	108	0	**120**
Carré 37	0	0	9	31	0	**40**
Carré 42	0	0	11	49	0	**60**
Carré 43	0	0	5	25	0	**30**
Carré 45	0	0	35	25	0	**60**
Carré 46	0	1	38	21	0	**60**
Carré 47	0	0	19	41	0	**60**
Carré 48	10	0	16	34	0	**60**
Carré 49	0	1	15	45	0	**60**
Carré 50	0	0	17	43	0	**60**
Carré 53	0	0	24	36	0	**60**
Carré 59	0	0	28	32	0	**60**
Carré 60	0	0	40	0	0	**40**
Carré 61	0	0	28	0	0	**28**
Carré 62	0	0	14	45	1	**60**
Carré 67	0	0	23	37	0	**60**
Carré 73	0	0	12	48	0	**60**
Carré 74	0	0	25	75	0	**100**
Carré 75	0	0	30	0	0	**30**
Carré 78	0	0	13	27	0	**40**
Carré 79	0	0	10	30	0	**40**
Total	**10**	**2**	**659**	**920**	**1**	**1591**
Total en %	**0,63**	**0,13**	**41,42**	**57,83**	**0,06**	**100**

TABLEAU 12 - Tableau de détail des taxons par carrés analysés, US 40552, le Fâ.

2. Analyse entomologique appliquée aux charbons de bois

Parmi les 1591 charbons analysés, 558 fragments, soit environ 35 % de l'ensemble, présentent des anomalies liées à des dégradations du bois (FIGURE 75) : hyphes, pourriture cubique, arthropodes et galeries d'insectes xylophages. Plusieurs de ces anomalies peuvent se retrouver sur un même fragment. Au final, il est alors noté qu'un peu plus de 58 % de la structure est entièrement préservée (TABLEAU 13)[403].

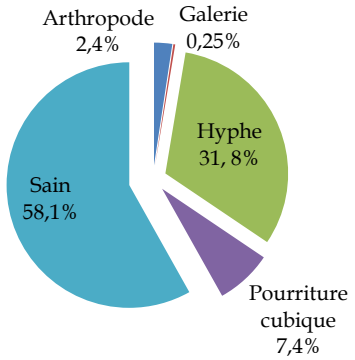


FIGURE 75 - Proportions des différents ravageurs du bois, US 40552.

Taxons	Arthropode	Galerie	Hyphes	Pourriture cubique	Total fragments infestés	Total Charbon
Carré 3	0	0	19	5	**20**	**60**
Carré 5	0	0	10	8	**16**	**60**
Carré 6	0	0	3	0	**3**	**30**
Carré 9	0	1	4	1	**5**	**20**
Carré 14	1	1	3	0	**4**	**23**
Carré 15	0	0	38	12	**39**	**60**
Carré 22	0	0	1	0	**1**	**60**
Carré 23	0	0	5	0	**5**	**60**
Carré 25	0	1	6	0	**7**	**30**
Carré 28	6	0	74	26	**78**	**120**
Carré 37	0	0	4	9	**11**	**40**
Carré 42	0	0	21	2	**22**	**60**
Carré 43	0	0	2	0	**2**	**30**
Carré 45	3	0	9	0	**12**	**60**
Carré 46	1	0	2	0	**3**	**60**
Carré 47	0	0	5	0	**5**	**60**
Carré 48	0	0	18	0	**18**	**60**
Carré 49	2	0	7	0	**7**	**60**
Carré 50	1	0	5	0	**6**	**60**
Carré 53	4	0	43	5	**46**	**60**
Carré 59	0	0	11	2	**13**	**60**
Carré 60	0	0	8	0	**8**	**40**
Carré 61	0	0	1	0	**1**	**28**
Carré 62	6	0	48	6	**54**	**60**
Carré 67	0	1	45	35	**49**	**60**
Carré 73	6	0	25	0	**28**	**60**
Carré 74	8	0	53	0	**54**	**100**
Carré 75	0	0	14	2	**16**	**30**
Carré 78	0	0	12	5	**15**	**40**
Carré 79	0	0	10	0	**10**	**40**
Total	**38**	**4**	**506**	**118**	**558**	**1591**
Total en %	**2,39**	**0,25**	**31,80**	**7,42**	**35,07**	**100**

TABLEAU 13 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.

[403] *Cf.* Annexe 6, tableaux de détail de l'analyse par carré : tableau n° 14 à 43, page 162.

- Les attaques fongiques

Il a été constaté deux types de traces fongiques :

- La majorité de ces observations, soit 31,8 % de l'ensemble, concernent les hyphes de champignon de couleur blanc à orangé, généralement présents sur la surface des fragments des charbons de bois (PLANCHE 24 a et b). La proportion de présence de ces hyphes est différente selon les carrés de prélèvements anthracologiques (FIGURE 76). Leur répartition ne semble pas suivre un schéma particulier, elle est au contraire diversifiée au sein de la structure. En revanche, la (ou les) espèce(s) d'hyphe en présence n'a pas pu être identifiée.

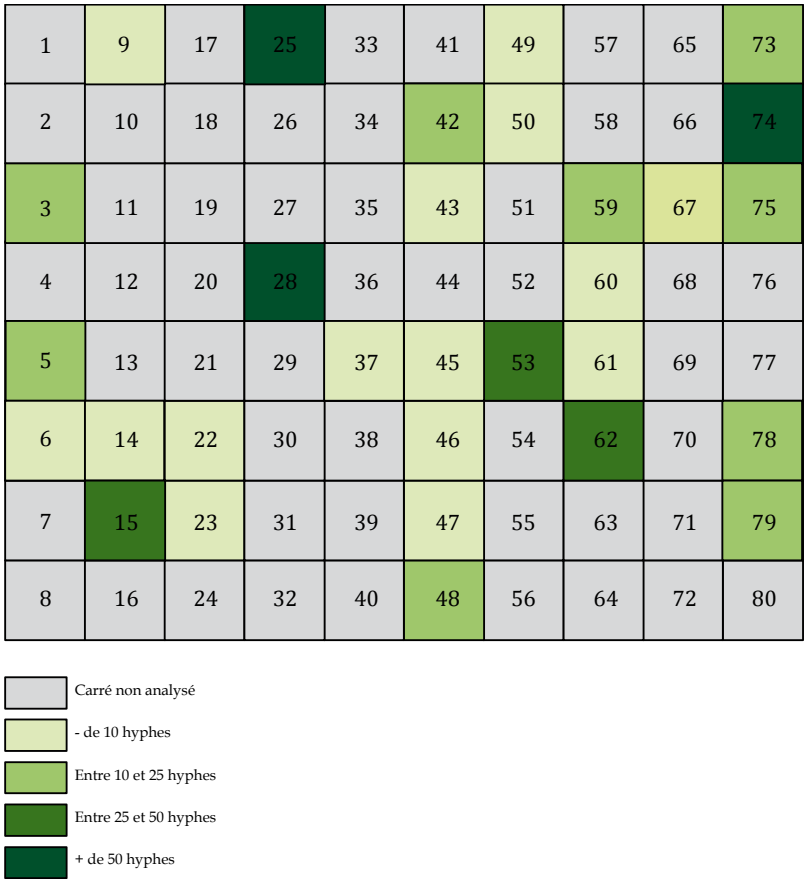


FIGURE 76 - Répartition des proportions de fragments de bois infestés par des hyphes.

- Pour 7,4 % des charbons observés, il a été constaté une déformation du bois produite avant la carbonisation par un champignon de type pourriture cubique[404]. Ce dernier est fissuré et se délite en une multitude de petits cubes assez réguliers. La répartition de sa présence au sein des carrés de prélèvement révèle une infestation plutôt éparse (FIGURE 77). Les fragments les plus touchés proviennent des carrés 28 et 67, qui se trouvent dans la partie interne de la structure.

[404] *Cf.* Chapitre II, page 105.

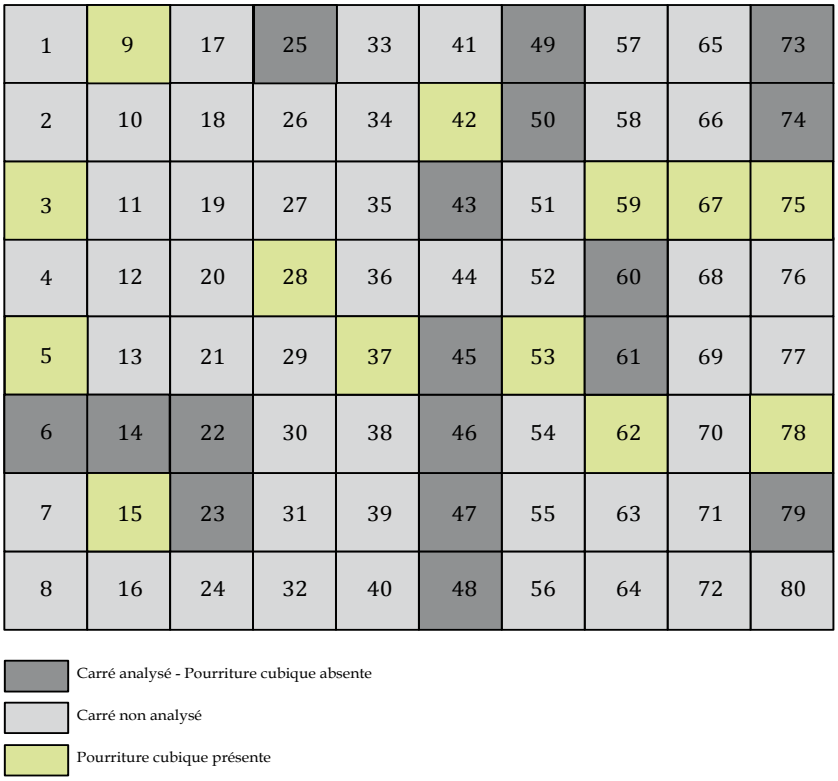


FIGURE 77 - Répartition de présence ou absence de la pourriture cubique.

- Les arthropodes

Les restes d'arthropodes (non xylophages) observés correspondent, dans la plupart des cas, à des mues d'insectes récents de la famille des scolopendres ou des restes d'araignées actuels[405] (PLANCHE 24 c et d).

- Les insectes xylophages

Seulement quatre galeries, bien rondes et d'un diamètre d'environ 1 mm, ont été repérées. Elles sont de nature indéterminée en raison de l'absence de vermoulure (PLANCHE 24 e et f). Les charbons concernés sont de petite taille et n'ont conservé les galeries que sur une faible longueur (quelques millimètres) interdisant une détermination fiable. De plus, elles sont chacune isolées sur quatre fragments provenant de carrés de prélèvement différents : 9, 14, 25 et 67 (FIGURE 78).

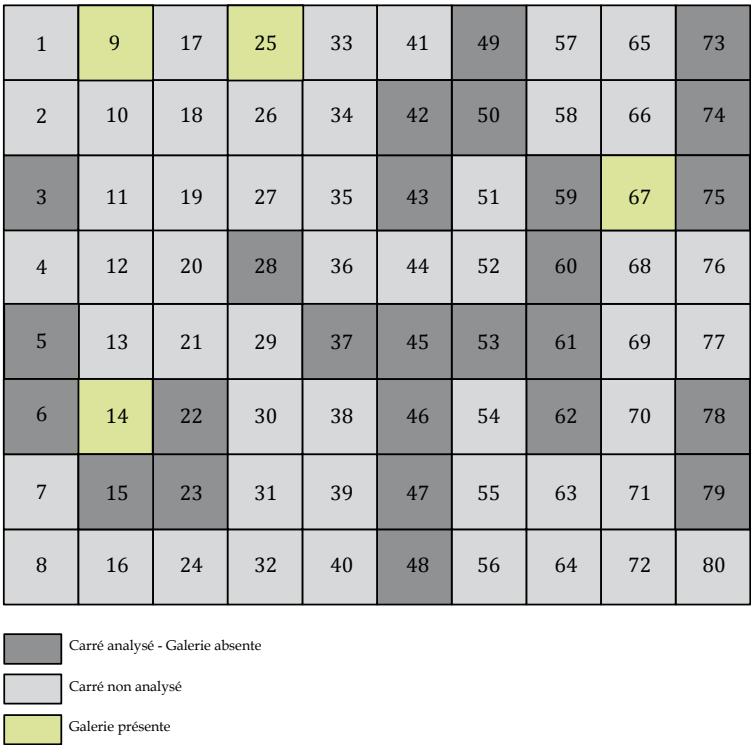
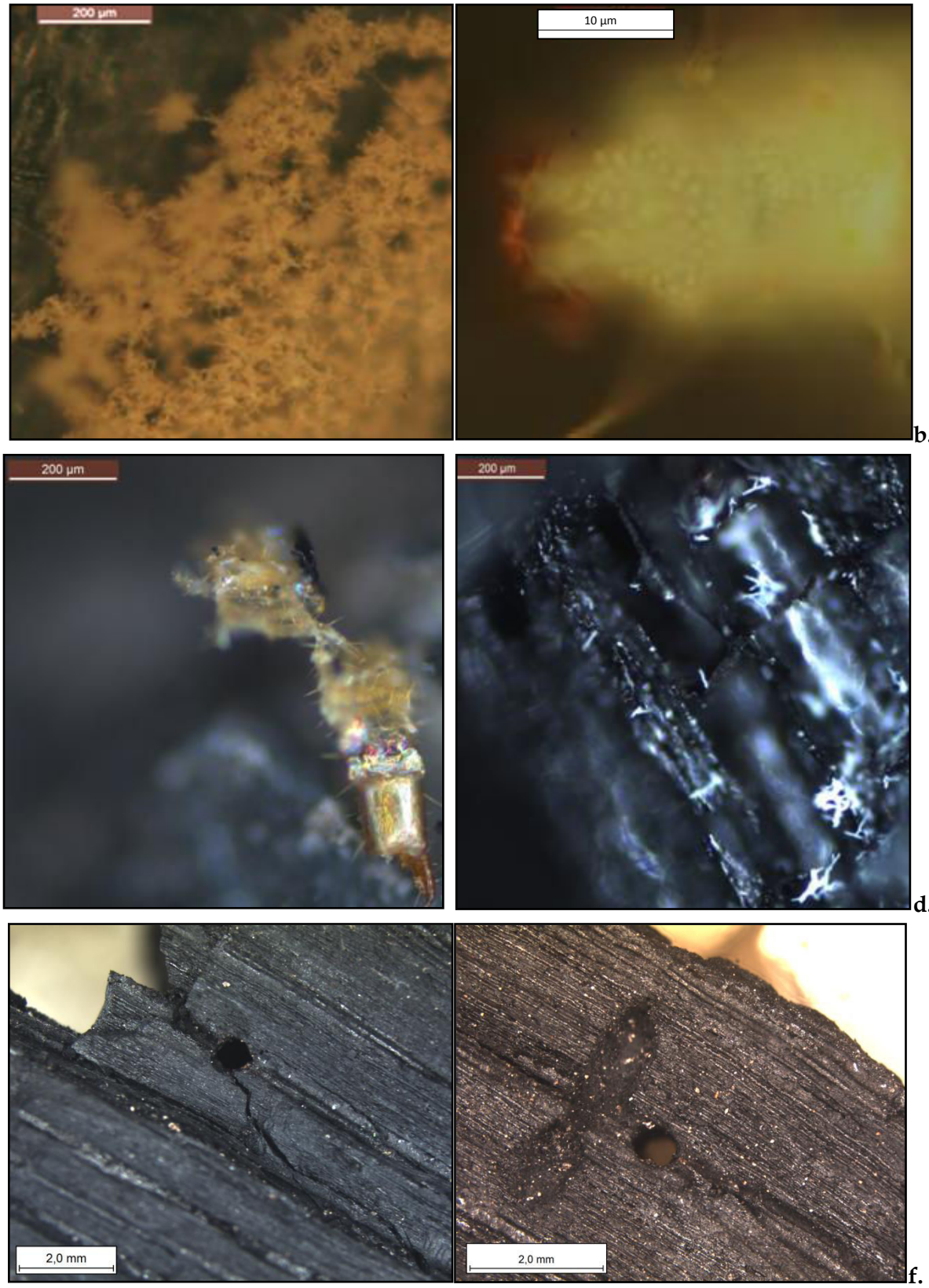


FIGURE 78 - Répartition de présence ou absence de galerie d'insecte xylophage.

[405] Identifications et informations Ph. PONEL et F. FOHRER.



a. **b.** **c.** **d.** **e.** **f.**

PLANCHE 24 - a. Hyphes de champignon en surface du fragment carbonisé, de couleur orangé. **b.** Hyphes de champignon en surface du fragment carbonisé, de couleur blanc. **c.** Reste d'arthropode, type patte d'araignée. **d.** Mue d'arthropode de type *Scolopendria*. **e. et f.** Galeries visibles sur coupes longitudinales de chêne F. C., sans vermoulure.

C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE

Une construction homogène

Le nombre de taxons anthracologiques observés est bas et ne dénote pas une grande richesse floristique, bien au contraire. Compte tenu de l'implantation biogéographique du site[406], ce faible taux taxinomique, en regard du nombre de charbons déterminés, corrobore ici les données archéologiques : les charbons sont issus de bois de structures de construction. Par conséquent, ils ne peuvent offrir une image fiable de l'environnement ligneux[407].

Les données anthracologiques ont affiné l'identification de cette structure carbonisée du quartier des entrepôts. En effet, l'analyse enrichit les interprétations archéologiques et les affine : l'ensemble des pièces de bois sont fabriquées en chêne blanc. Une pièce, située en bordure de la structure est en hêtre commun, et est bien délimitée (carré 48). La présence de cette essence en bordure de la structure pourrait soulever l'idée d'une armature externe construite dans une autre essence que la partie interne en chêne. Or, plusieurs autres carrés en bordure de la structure ont été analysés (3, 5, 6, 9, 25, 49, 73, 74, 75, 78 et 79) et ne présentent pas de fragments de hêtre. De même, l'absence généralisée de traces entomologiques exclue l'hypothèse d'une réparation du plancher avec une autre pièce de bois.

Ces bois présentent des qualités de résistance mécanique, fongique et sont des bois de longue portée : ce sont par conséquent d'intéressants bois de charpentes, de poutraison et plus largement de bois d'œuvre. Par ailleurs, il s'agit de bois très communs autour du site étudié et il est très probable, sans pouvoir être totalement affirmatif, que les bois de construction ne sont pas exogènes à la région où est implanté Barzan. Ces résultats viennent confirmer et enrichir ceux déjà acquis par les analyses anthracologiques précédentes[408] et d'une manière générale sur l'ensemble de la région[409]. L'omniprésence du chêne à feuillage caduc de type sessiliflore-pédonculé et du hêtre conforte, par leur récurrence, la régularité dans l'exploitation des territoires d'approvisionnement de type chênaies-hêtraies[410], ici pour l'approvisionnement de bois de construction, même si un approvisionnement plus lointain pour les grosses grumes ne peut être entièrement exclu. Cette situation ne milite cependant pas pour une variabilité importante des sources d'approvisionnement en ligneux.

Une construction saine au moment de son fonctionnement au Ier s. apr. J.-C.

Le cas du site de Barzan est intéressant du point de vue des analyses entomologiques appliquées à l'anthracologie, car celui-ci est « négatif ». En effet, d'une manière générale, il s'agit d'un ensemble bien conservé et très peu colonisé par les insectes telle que la petite vrillette, habituellement friande de bois d'œuvre et pourtant découverte via les analyses entomologiques traditionnelles des sols menées par Ph. PONEL[411]. Les quelques rares galeries,

406 DA LAGE ET MÉTAILIÉ 2000-2015 ; RAMEAU *ET AL*. 2005.
407 SMART ET HOFFMAN 1988 ; CHABAL 1994 & 1997.
408 POIRIER 2003 ; POIRIER 2011.
409 POIRIER 2000, 2003.
410 POIRIER 2011.
411 BOUET (DIR.) à paraître.

isolées, de moins de 1 mm de diamètre sont très difficiles à interpréter et ne permettent pas d'affirmer une infestation manifeste.

Toutefois, la présence des déformations du bois causées par un champignon lignivore de type pourriture cubique annonce probablement un début de dégradation de la structure. Avec un taux d'un peu plus de 7 % sur l'ensemble des charbons analysés, cette infestation intervient avant l'arrivée éventuelle d'insectes xylophages, présents à 0,65 %. Le champignon a profité de l'humidité et de l'obscurité de la citerne pour attaquer le bois. En revanche, la répartition des fragments infestés ne permet pas de cibler un point de départ quelconque. L'incendie a figé cet état avant l'apparition effective d'insectes xylophages.

Des infestations post-carbonisation

Concernant les arthropodes, il est probable qu'ils soient arrivés lors du stockage ou du prélèvement des échantillons. Les prélèvements archéologiques auraient été infestés en raison de l'humidité et de la chaleur. Ces facteurs auraient été suffisamment importants pour permettre à cette micro-faune de se développer dans les sédiments.

Les hyphes de champignons interviennent soit au même moment que les arthropodes, ce qui expliquerait leur présence généralement sur la surface des charbons de bois, soit il s'agirait de résidus de champignons taphonomiques voire archéologiques[412]. Pour avoir des certitudes à ce sujet, il faudrait réaliser une étude spécifique sur les hyphes, que le temps et l'absence de compétences spécifiques ont interdit de mener à bien dans le cadre de ce travail. Il aurait fallut en effet s'intéresser principalement aux hyphes observables à l'intérieur des fragments carbonisés, comme le suggère M. MOSKA-DEL-HOYO. Néanmoins, le fait que ces infestations ont lieu sur du charbon archéologique reste un phénomène curieux et rarement observé, car ce n'est pas leur milieu de vie naturel. L'hypothèse proposée est que ce type d'infestation serait lié à l'humidité ambiante de l'échantillon et donc une infestation durant le stockage des prélèvements.

[412] MOSKAL-DEL HOYO *ET AL.* 2010.

II. Les bois de la fouille du couvent des Jacobins, Rennes (Ier-IIIe siècle apr. J.-C.)

A. Données archéologiques

Le site préventif du couvent des Jacobins, fouillé sous la direction G. Le Cloirec[413], entre 2011 et 2013 a mis au jour 13 structures en bois, prélevées et correspondant à deux phases d'occupation de l'époque romaine de la ville de *Condate*. Les bois analysés sont datés de la seconde moitié du IIe s. apr. J.-C. (phase III) et de la fin du IIIe s. apr. J.-C (phase V)[414] (Tableau 44).

US	Ilot	Phase	Description
10296	I	V	plancher
10300	I	V	plancher (idem US 10296)
10341	I	V	plancher (idem US 10296)
10342	I	V	plancher (idem US 10296)
10466	I	V	poutre carbonisée - sablière basse
10706	II	V	plancher
10784	I	III	bâtiment sur sablière, niveau d'incendie
11016	I	III	sablière carbonisée
11088	II	III	bois calciné - zone nord-est vers portail
20406	III	III	sablière carbonisée
70435	II	III	couche d'incendie
70444	II	III	sablière carbonisée
70760	II	V	charbons associés à des enduits peints

Tableau 44 - Liste des échantillons observés, les Jacobins.

1. Les structures de l'îlot 1

- Seconde moitié du IIe s. apr. J.-C.

La surface de l'îlot 1 de l'habitat antique (Figure 79) a été entièrement dégagée par les fouilles archéologiques. Encadré de rues (*cardines* et *decumani*), l'îlot est composé en son sein de plusieurs unités[415], notamment d'habitation, mais dont la fonction n'est pas toujours déterminable. Lors de la phase III, plusieurs réaménagements des unités ont été constatés, notamment des unités 11 et 12 (Figure 80). Il s'agit principalement d'assainissement et d'aplanissement du terrain afin d'établir de nouveaux bâtiments construits sur des sablières basses en bois.

[413] Ingénieur de recherche, INRAP, spécialiste de la période antique.
[414] *Cf.* chapitre III, pages 175.
[415] Une unité peut être composée de plusieurs pièces.

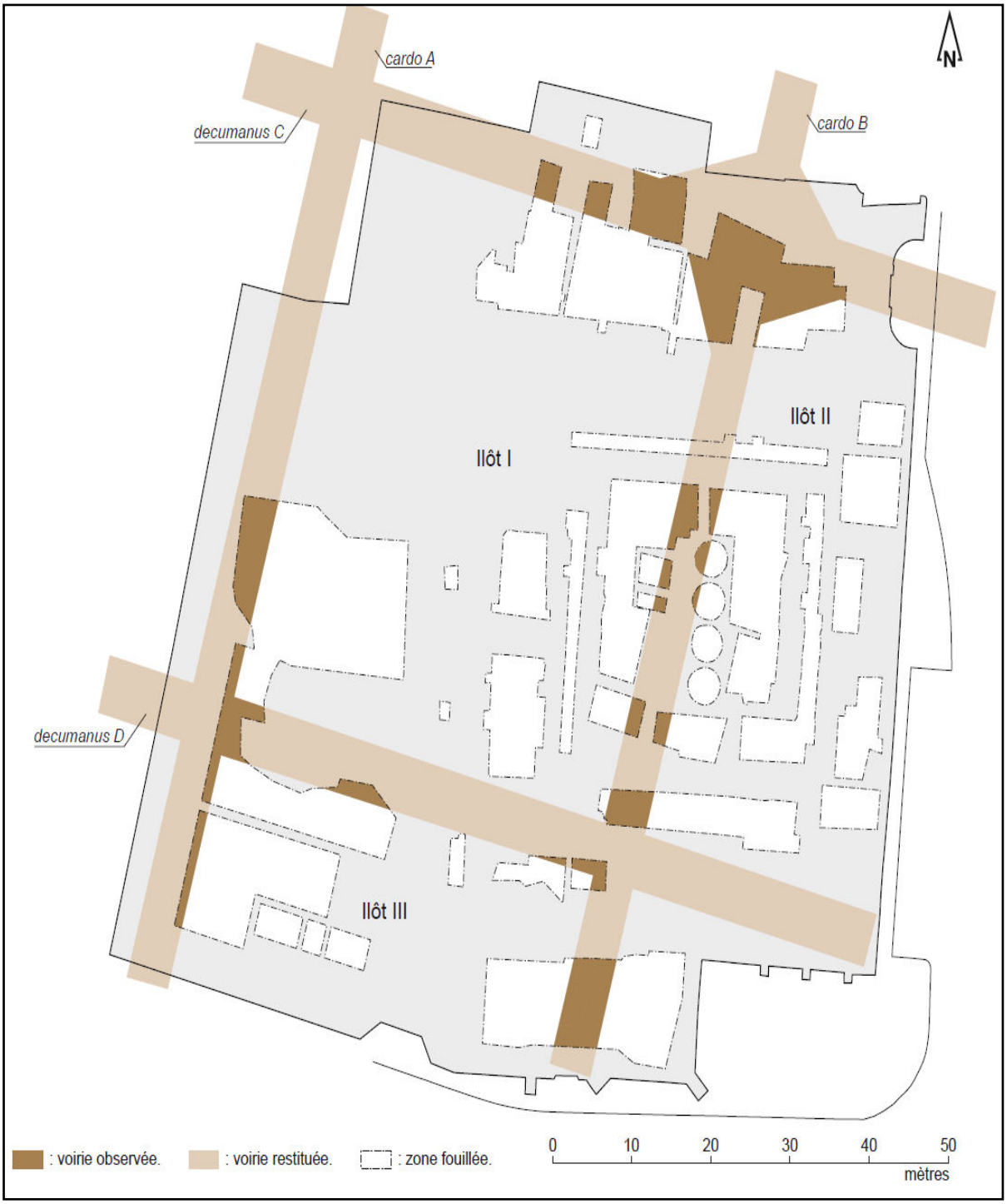


FIGURE 79 – Rappel du plan d'organisation générale du quartier antique, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 202. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

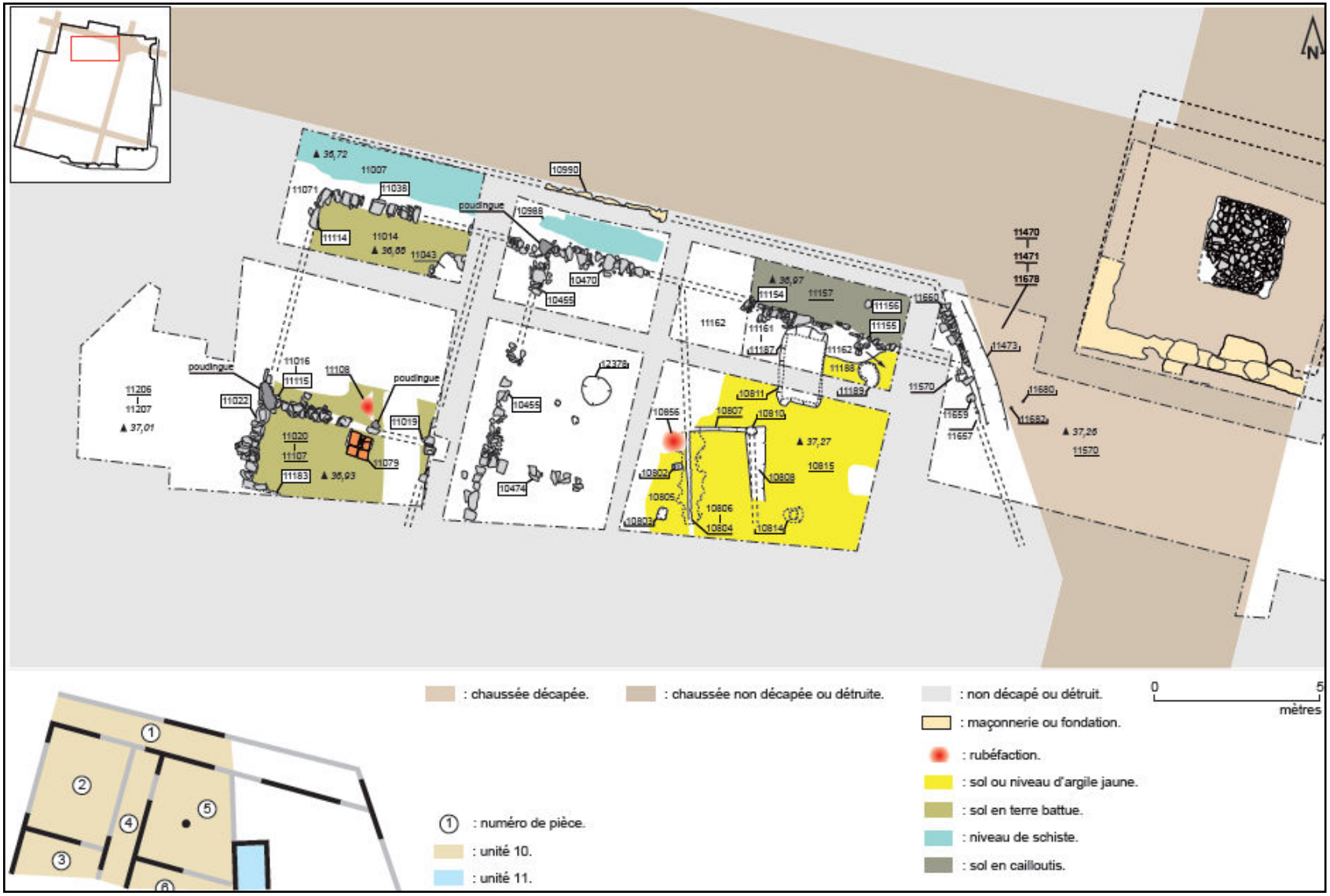


FIGURE 80 - Façade nord de l'îlot I lors de la phase III, unités 10 et 11, tiré de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 317. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

L'US 10784 correspond à une couche de céramiques concassées, étalées sur les restes de l'incendie de l'unité 11, vraisemblablement installées dans le but d'assainir et aplanir la zone pour mettre en place un sol (10774). Un prélèvement de sédiment brûlé a été récolté, dont la localisation exacte est inconnue[416] (FIGURE 81).

FIGURE 81 - Vestiges de l'unité 11 incendié (10784), tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 322. ©Gwénaël HERVIAUX.

FIGURE 82 - Restes carbonisées de la sablière basse 11016, tiré de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 320. ©Rozenn BATTAIS.

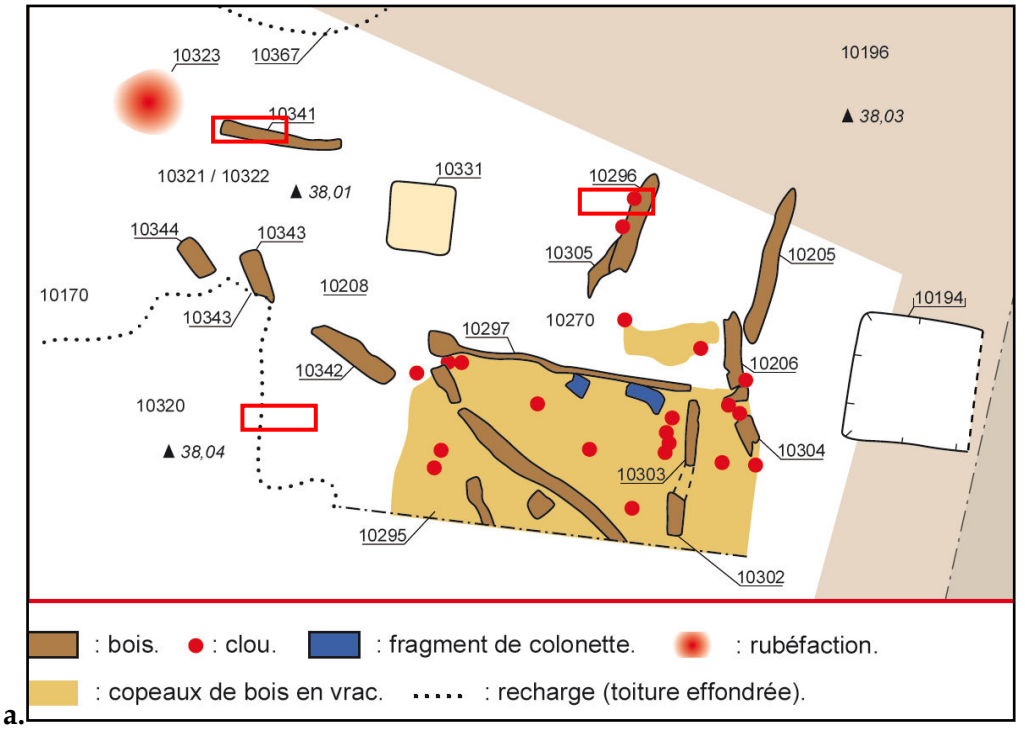
L'US 11016 représente une sablière basse, prélevée en entier sans division, qui était posée sur de la terre battue au sein de l'unité 10. Elle délimite d'un côté une pièce à fonction inconnue composée d'un sol de circulation sableux jaune (11020) et d'un autre côté une zone de remblais (11107) (FIGURE 82).

- Début du IIIe s. apr. J.-C.

Lors de la phase V, l'îlot I subit plusieurs réaménagements de l'espace après l'abandon de certaines unités lors de la phase précédente. L'aube du IIIe s. apr. J.-C. voit le quartier des Jacobins se doter de la phase finale de ses bâtiments d'habitations avant un abandon du secteur et de ses commodités lors de l'Antiquité tardive.

L'unité 12 a subi un incendie laissant derrière lui de nombreux fragments de poutres dont seules les US 10296, 10300[417], 10341 et 10342 ont été prélevées sur 16 bois isolés et repérés en fouille (FIGURE 83). Ces éléments sont accompagnés de pans de maçonnerie rubéfiés et d'autres non rubéfiés. Ces derniers soulèvent la question d'un premier effondrement, voire d'un abandon de l'unité 12 avant l'incendie. Le positionnement entre les bois et les pans de maçonnerie pose l'hypothèse d'un plancher plutôt que de restes d'une charpente.

[416] LE CLOIREC 2016b, 324.
[417] 10300 n'est pas représenté sur le plan (FIGURE 16).



a.

b.

FIGURE 83 – a. Plan des vestiges en façade nord de l'îlot I, unité 12, phase V. En encadré rouge : élément en bois prélevé. **b.** Vue de la structure en cours de fouille, tirés de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 364. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

Toujours au sein de l'unité 12, la sablière basse 10466 a été mise au jour sur l'arase d'un mur antérieur. Sa présence confirme un état final du bâtiment, fabriqué dorénavant en pans de bois. Les phases précédentes fournissent plus d'informations sur une architecture en pierre et soubassements maçonnés ou sur sablières en bois (FIGURE 84).

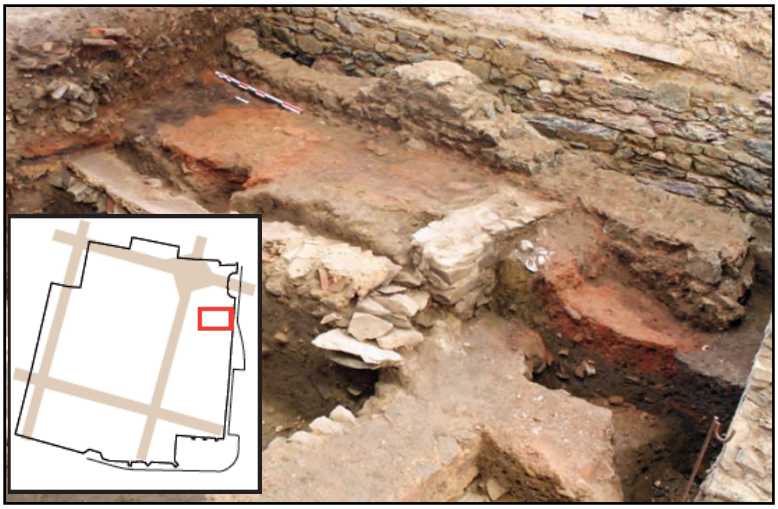
FIGURE 84 - Restes d'une sablière basse carbonisée, 10466, sur l'arase du mur 11178, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 355. ©Gwénaël HERVIAUX.

2. Les structures de l'îlot 2 et 3

- Seconde moitié du IIe s. apr. J.-C.

L'îlot II n'est dégagé qu'en partie en raison de l'emprise de la fouille. Lors de la phase III, les bâtiments sont construits sur sablières basses en bois. L'angle nord-ouest est exigu en raison de la présence d'un carrefour de rues imposant composé de trottoirs. Ces derniers sont rougis à cause de l'incendie de l'unité 29 adjacente. Au sein de cette unité, au nord et en bord de la voirie, une partie d'une paroi carbonisée reste conservée[418], notée 11088. L'agencement des pièces de bois n'a pas pu être déterminé. L'hypothèse d'une paroi est proposée en raison de la présence d'enduits conservés sur le bois, comme un revêtement de la paroi en bois[419] (FIGURE 85).

FIGURE 85 - Une partie d'une paroi en bois carbonisée piégée dans le fossé bordant le *decumanus*, phase III, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 452. ©INRAP.



Au nord de l'îlot II, l'US 70435 est une couche importante d'incendie qui recouvre tous les vestiges sur 15-20 cm d'épaisseur. Elle est composée de fragments de torchis et de charbons de bois, dont une poutre, notée 70444 qui a été isolée et prélevée. Il pourrait s'agir des restes d'une paroi en clayonnage qui composaient l'unité 40 (FIGURE 86).

FIGURE 86 - Couche d'incendie 70435 recouvrant les vestiges de la phase III, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 575. ©Rozenn BATTAIS.

L'îlot III est marqué pour la fin du IIe siècle par une reprise architecturale complète. Deux nouveaux ensembles (unités 52 et 53) sont implantés avec des élévations sur sablières. L'US 20406 correspond à une sablière basse soutenant des parois en bois divisant l'espace de l'unité 52 en trois [420] (FIGURE 87).

[418] L'autre partie, inconnue, demeure hors de l'emprise de la fouille.
[419] LE CLOIREC 2016b, 488-453.
[420] LE CLOIREC 2016c, 662.

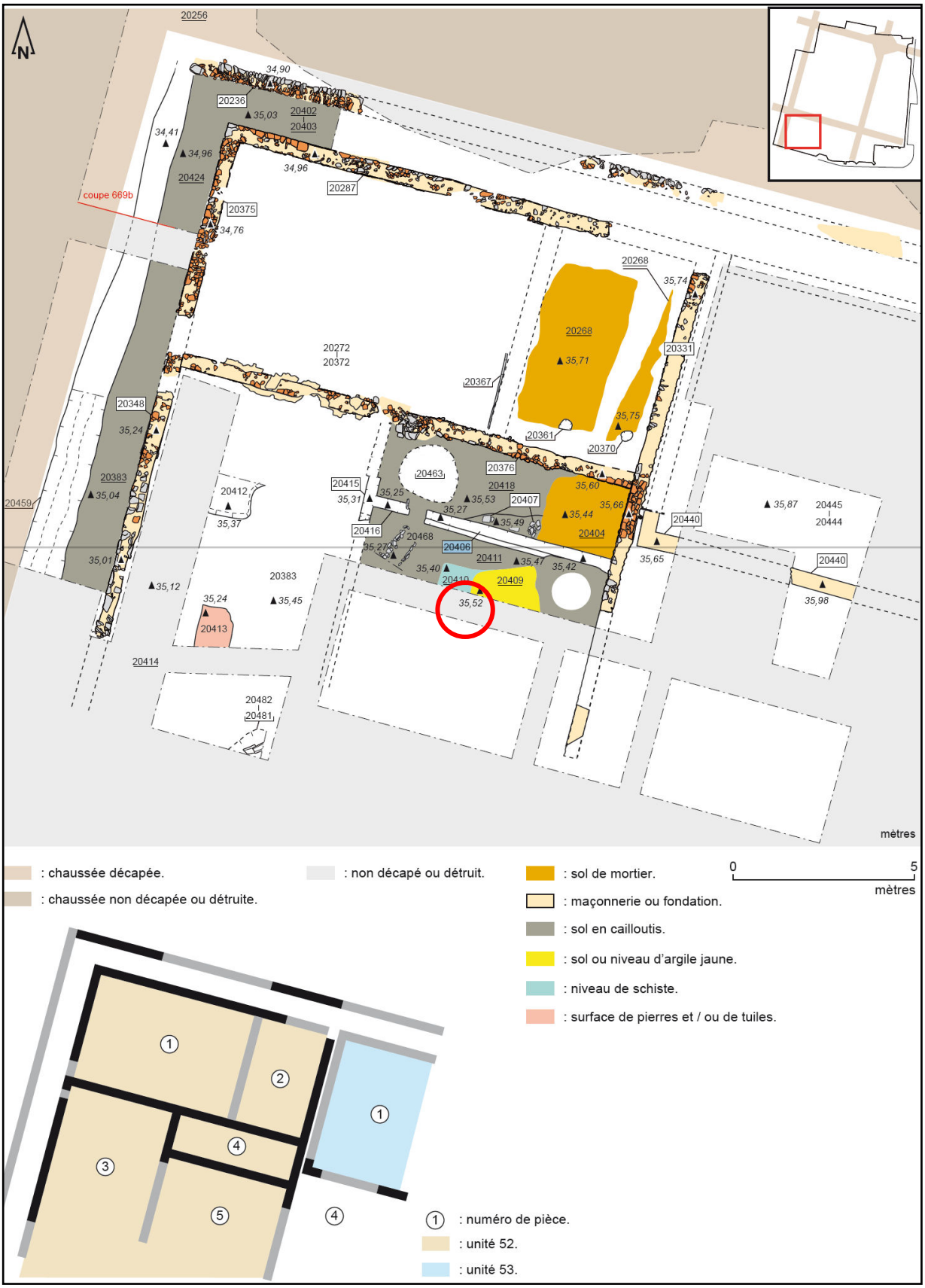


FIGURE 87 - Plan des vestiges dans l'angle nord-ouest de l'îlot III, lors de la phase III. En rouge : localisation de l'US 20406. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

- *Début du IIIe s. apr. J.-C.*

Lors de la phase V, le bâtiment 30, au nord de l'îlot, subit des transformations et des aménagements successifs de sols de circulation et de cloisons en matériaux périssables (FIGURE 88). L'US 10706 correspond aux vestiges d'un plancher qui devait s'étendre dans la pièce située à l'est (FIGURE 89). Ce plancher repose sur une sablière basse antérieure pouvant marquer l'emplacement d'une ancienne cloison. Dans un second temps, le plancher a été partiellement recouvert par des gravats afin de former un nouveau sol. Ces gravats sont eux aussi incendiés.

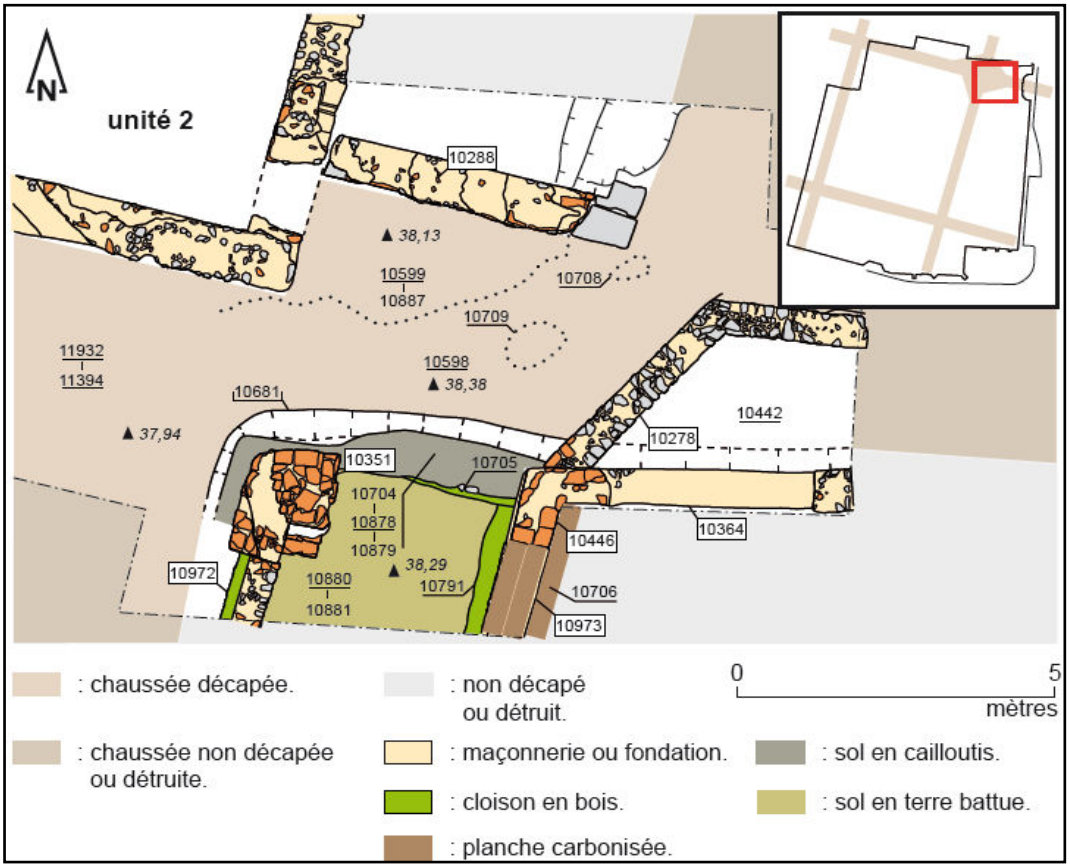


FIGURE 88 - Plan des vestiges de l'angle nord-ouest de l'îlot II et localisation de l'US 10706, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 465. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

FIGURE 89 - Vue de la partie du plancher 10706 conservée dans l'angle de la pièce, tirée de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 468. ©Tiphaine ROBIN.

Au sud-est de l'îlot, l'unité 45 faisant 3 m large sur 6 m de long, semble correspondre à un corridor constitué d'une chape de béton d'environ 15 cm d'épaisseur. L'US 70760 se compose de torchis rubéfié, d'enduits conservés par plaque et de fragments de bois prélevés. Le niveau recouvre le sol en béton 70759 de l'unité 45 (FIGURE 90). Il s'agit probablement d'un décor d'enduit tombé sur place lors de l'incendie.

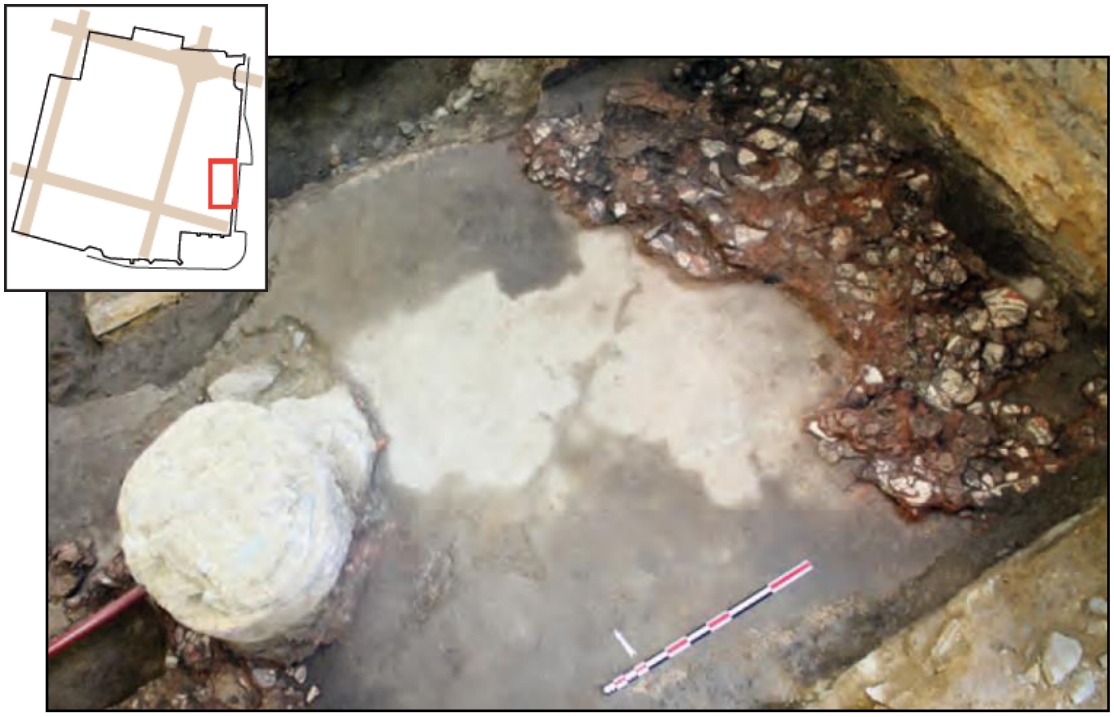


FIGURE 90 - Niveau incendié 70760 provenant du plafond décoré de l'unité 45. Effondré sur le sol en béton 70759, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 614. ©Gaétan LE CLOIREC.

B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES

1. Analyse anthracologique

L'étude anthracologique des 13 prélèvements précédemment décrits, a été réalisée par H. SEIGNAC[421]. Son analyse, sur 395 fragments de charbons de bois, a mis en évidence le chêne comme bois de prédilection pour la construction. Ainsi, les sablières de la phase III : 11016, 70444 et 20406 ; ainsi queles éléments en bois prélevés et interprétés comme appartenant à un plancher de l'unité 12[422] pour la phase V, la sablière 10466 et le prélèvement du plancher du bâtiment 30 (10706), sont tous en chêne. Toutefois, la faible proportion des charbons analysés, ou conservés, doit être soulignée.

La bûche présente dans la couche d'incendie 70435 est en hêtre. Il s'agit du seul prélèvement ne contenant pas de chêne. Les charbons associés au plafond effondré 70760 ont révélé la présence de l'aulne en majorité (75%) puis du chêne F. C. (25%).

[421] LE CLOIREC 2016D, 2128-2134.
[422] 10296, 10300, 10341 et 10342.

H. SEIGNAC a également identifié quelques autres essences en plus du chêne et du hêtre pour le niveau d'incendie 10784 (îlot I) et la paroi 11088 (îlot II), tels que le *Fraxinus*, le *Tilia*, le *Corylus* ainsi qu'un fragment de *Pomoïdeae.* Ces derniers ont été interprétés comme étant des restes soit d'objets (tilleul), de vannerie, de pieux ou clôture (noisetier), soit faisant partie de la construction (TABLEAU 45).

US	Ilot	Phase	Essence ligneuse	Nb de charbons	Description
10296	I	V	*Quercus* F. C.	1	plancher
10300	I	V	*Quercus* F. C.	1	plancher (idem US 10296)
10341	I	V	*Quercus* F. C.	30	plancher (idem US 10296)
10342	I	V	*Quercus* F. C.	40	plancher (idem US 10296)
10466	I	V	*Quercus* F. C.	30	poutre carbonisée - sablière basse
10706	II	V	*Quercus* F. C.	50	plancher
10784	I	III	*Quercus* F. C. (35) ; *Pomoïdae* (1) ; *Fagus sylvatica* (3) ; *Corylus* (1)	40	bâtiment sur sablière, niveau d'incendie
11016	I	III	*Quercus* F. C.	52	sablière carbonisée
11088	II	III	*Quercus* F. C. (17) ; *Fagus sylvatica* (14) ; *Fraxinus* (5) ; *Corylus* (2) ; *Tilia* (2)	40	bois calciné - zone nord-est vers portail
20406	III	III	*Quercus* F. C.	20	sablière carbonisée
70435	II	III	*Fagus sylvatica*	50	couche d'incendie
70444	II	III	*Quercus* F. C.	1	sablière carbonisée
70760	II	V	*Quercus* F. C. (10) ; *Alnus* (30)	40	charbons associés à des enduits peints

TABLEAU 45 - Tableau général résumant l'analyse anthracologique d'H. SEIGNAC.

2. Analyse entomologique appliquée aux charbons de bois

a. Résultats généraux

C'est dans un second temps, une fois l'analyse anthracologique terminée, que le travail en archéoentomologie est intervenu pour l'analyse de ces bois romains. Les charbons, alors coupés pour leur identification au microscope, avaient été placés par US et par essence ligneuse identifiée dans des sachets zip distincts[423]. Cette méthode de conditionnement des échantillons conduit à un risque de surévaluation du nombre de fragments infestés ou non. En effet, le nombre de fragments analysés par H. SEIGNAC est de 395 contre 572 pour cette analyse. Malgré les essais pour reconstituer les charbons lors de l'étude archéoentomologique, il est fort probable que le nombre total de fragments infestés soit plus élevé qu'il ne devrait l'être en réalité.

Parmi les 13 prélèvements observés, 12 présentent des traces d'infestation diverses : hyphes de champignon et arthropodes, pourriture cubique carbonisée (champignon lignivore) et galeries d'insectes xylophages. Concernant les galeries, sur un total de 572 charbons observés, on constate la présence de 265 galeries d'insectes xylophages se répartissant sur 126 charbons, soit un total d'environ 22 % d'infestation pour l'ensemble des structures. Le nombre de fragments où des arthropodes et des déformations fongiques de

[423] Et non pas placés fragments par fragments individuellement, *cf.* Chapitre II, pages 90.

type pourriture cubique ont été observés représente respectivement 0,35 % et 15,38 %. Enfin, le nombre de fragments comprenant des hyphes de champignons dépasse les 31 % (TABLEAU 46)[424].

US	Nb de charbons Anthraco.	Nb de charbons Entomo.	Nb de fragments hyphe	Nb de fragments arthropode	Nb de fragments P. cubique	Nb de fragments présentant galeries	Nb total galerie	% d'infestation par insectes xylophages	Essence(s) infestée(s)
10296	**1**	**2**	0	0	1	0	0	0	chêne
10300	**1**	**5**	0	0	1	0	0	0	chêne
10341	**30**	**60**	0	1	0	0	0	0	chêne
10342	**40**	**50**	0	0	26	0	0	0	chêne
10466	**30**	**55**	35	0	12	0	0	0	chêne
10706	**50**	**60**	47	1	4	3	8	5 %	chêne
10784	**40**	**66**	37	0	6	0	0	0	chêne
11016	**52**	**60**	6	0	0	4	9	6,67 %	chêne
11088	**40**	**93**	26	0	17	53	121	56,99%	chêne, frêne, tilleul, hêtre
20406	**20**	**32**	16	0	8	2	2	6,25%	chêne
70435	**50**	**50**	0	0	6	36	67	72%	hêtre
70444	**1**	**4**	0	0	0	0	0	0	-
70760	**40**	**35**	11	0	7	28	58	80	chêne, aulne
TOTAUX	**395**	**572**	**178**	**2**	**88**	**126**	**265**	**22,03%**	**-**
%	**-**	**100**	**31,12**	**0,35**	**15,38**	**22,03**	**-**	**-**	**-**

TABLEAU 46 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.

- Les arthropodes

Les deux restes d'arthropodes (non xylophages) observés correspondent à des mues de larves récentes de la famille des scolopendres (PLANCHE 25 a).

- Les champignons

Il a été constaté deux types de traces fongiques :

- les hyphes de champignons, de couleur blanche, parcourent la surface des échantillons sous la forme de filaments blancs ou de petits amas blanc-orangé (PLANCHE 25 b et c).

- les déformations fongiques du bois donnent un aspect rugueux voire poudreux au charbon. Ce dernier est fissuré et se délite en une multitude de petits cubes assez réguliers. Il s'agit de la trace d'un champignon lignivore de type pourriture cubique (PLANCHE 25 d).

- Les insectes xylophages

L'identification des espèces d'insectes xylophages à partir des vermoulures couvre un spectre de six taxons, soit quatre espèces au minimum. La proportion d'indéterminés est importante, un peu plus de 34 %. La raison en est l'état de conservation des vermoulures. En effet, celles-ci, carbonisées, semblent s'être déformées et même avoir « fondues » à plus ou moins grande échelle, ce qui en interdit l'identification (TABLEAU 60).

[424] *Cf.* Annexe 6, tableaux de détail des échantillons : tableaux n° 47 à 59, page 172.

- La famille la plus représentée, 37 % de l'ensemble, est celle des Ptinidae et plus particulièrement l'espèce *Anobium punctatum*[425] présente à 26,4 %. Quelques vermoulures demeurent plus difficiles à déterminer et sont restées notées *cf. Anobium punctatum* (à presque 11 %) (PLANCHE 25 e et f).

- La famille des Curculionidae, plus précisément la sous-famille des cossoninés[426], est attestée à 18,9 % grâce à leurs petites galeries s'entrecroisant et à la vermoulure fine et hétérogène carbonisée. En revanche, en l'absence d'élytre, il est pour l'heure impossible de déterminer l'espèce.

- Environ 6 % des galeries identifiées semblent correspondre au lycte[427] (*cf. Lyctus*) avec des galeries ciblant particulièrement le bois initial du chêne[428] (PLANCHE 25 g et h).

- Enfin, la famille des Cerambycidae (ou capricornes) est attestée à un taux de 3,4 %. Ce taxon recouvre près de 190 espèces[429], mais est reconnaissable à ses galeries ovales.

US	Nb de charbons analysés	Nb de fragments présentant des galeries	Nb galerie	*Anobium punctatum*	*cf. A. punctatum*	*Cerambicydae*	*Cossoninae*	*cf. Lyctus*	Indeterminés	TOTAL
10706	60	3	8	0	0	0	0	8	0	**8**
11016	60	4	9	0	0	0	0	8	1	**9**
11088	93	53	121	14	18	1	0	0	88	**121**
20406	32	2	2	0	0	0	0	0	2	**2**
70435	50	36	67	56	11	0	0	0	0	**67**
70760	35	28	58	0	0	8	50	0	0	**58**
TOTAUX	**572**	**126**	**265**	**70**	**29**	**9**	**50**	**16**	**91**	**265**
%	-	-	**100**	**26,4**	**10,9**	**3,4**	**18,9**	**6,1**	**34,3**	**100**

TABLEAU 60 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.

b. Résultats par US

- US 10296

L'élément en bois carbonisé 10296 a donné lieu à une analyse anthracologique sur seulement un charbon en *Quercus* F. C. Pour l'analyse entomologique, les deux fragments de charbons ont pu être recollés. Chacun des fragments présente des traces de pourriture cubique carbonisé. Comme il s'agit d'une seule pièce, on compte une seule pourriture cubique.

- US 10300

L'élément carbonisé noté 10300 a fourni, lors de l'analyse archéoentomologique, seulement cinq charbons en *Quercus* F. C. À l'origine, lors de l'analyse anthracologique, il

425 *Cf.* Volume III, pages 109.
426 *Cf.* Volume III, pages 73.
427 *Cf.* Volume III, pages 97.
428 CRIVELLARO *ET AL.* - "*Wood anatomy and powder-post beetles decay in oak*" submit.
429 *Cf.* Volume III, pages 33.

s'agissait d'un fragment qui a alors été reconstitué. Chacun des fragments présente des traces de pourriture cubique carbonisée, considérée comme une seule et même trace.

- US 10341

L'analyse anthracologique du bois carbonisé 10341 a été effectuée sur une soixantaine de charbons de *Quercus* F. C. L'ensemble de l'échantillon ne présente pas de traces d'insectes xylophages ni de champignon lignivore. En revanche, on remarque la présence d'une mue d'arthropode actuel de type *Scolopendria* à l'intérieur des gros vaisseaux du bois initial (FIGURE 91).

FIGURE 91 - Vue générale d'une mue de *Scolopendria*, US 10341.

- US 10342

Le bois carbonisé 10342 a bénéficié d'une analyse archéoentomologique sur une cinquantaine de charbons en *Quercus* F. C. Après reconstitution de la fragmentation des charbons analysés, 26 fragments présentent des traces de pourriture cubique carbonisée.

- US 10466

La poutre carbonisée 10466 en chêne à feuillage caduc a livré 55 charbons de bonne taille. Il a été observé de nombreux hyphes de champignon, de couleur blanche, filant dans les cellules du bois ainsi que de la pourriture cubique carbonisée.

- US 10706

Un seul échantillon du plancher 10706 a été prélevé durant la campagne de fouille. Cet échantillon en *Quercus* F. C. a fourni une soixantaine de charbons de taille moyenne. 47 fragments possèdent des traces blanches d'hyphes et d'amas de champignon sur l'extérieur des charbons. Il a été également observé une mue de *Scolopendria* actuel. Quatre fragments présentent de la pourriture cubique carbonisée.

En parallèle, 5 % de cet échantillon est infesté. Il y a au total huit galeries de xylophages, rondes et de diamètre variant entre 0,4 et 1 mm. La vermoulure, le plus souvent fondue, semble toutefois être fine et homogène. Les galeries ne sont pas placées aléatoirement au sein de l'anatomie du bois. En effet, elles ont été creusées soit dans le bois initial (gros vaisseaux), soit dans les zones à forte teneur en parenchyme. En anatomie du bois, le parenchyme est un ensemble de cellule qui renferme de l'amidon, nutriment préféré du lycte[430] (FIGURE 92).

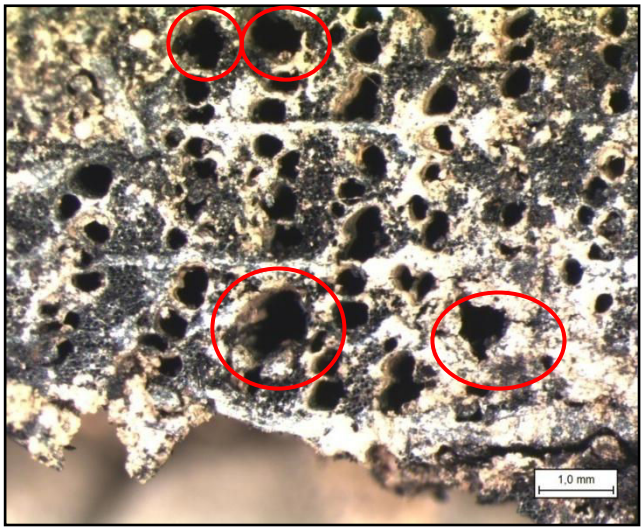


FIGURE 92 - Coupe transversale de *Quercus* F. C., avec localisation des galeries ciblées sur les zones du bois initial. *Cf. Lyctus*.

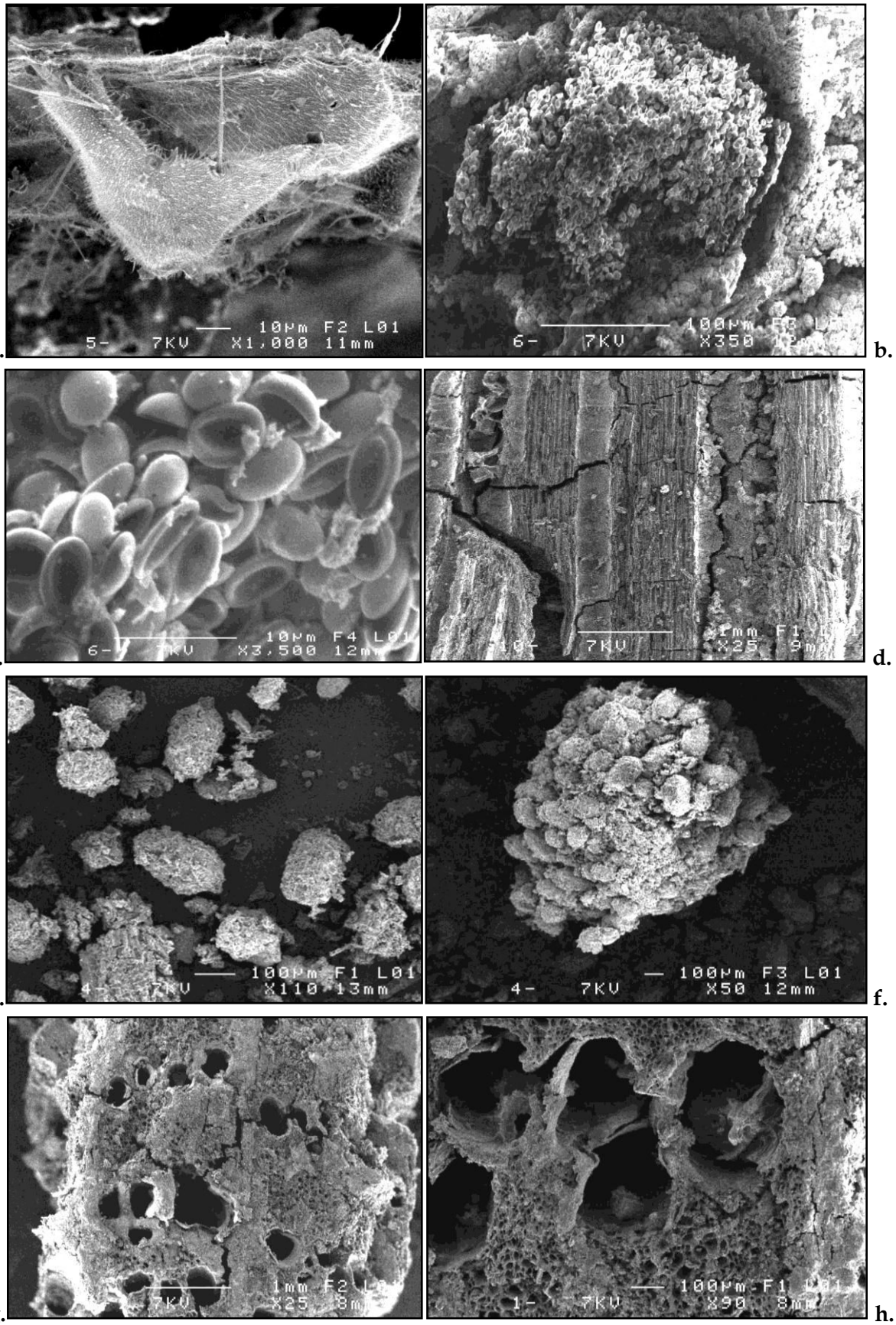


PLANCHE 25 - a. Fragment de mue d'arthropode non carbonisé, US 10341**. b. et c.** Amas de champignons actuels ; détails, US 10706. **d.** Exemple de pourriture de type cubique, US 10342. **e et f.** Détail de la vermoulure type *Anobium punctatum* ; amas de vermoulures carbonisées, US 11088. **g et h.** Galerie ciblant le bois initial du chêne F. C., *cf. Lyctus*, US 11016.

- US 10784

La sablière carbonisée 10784, située sur un niveau d'incendie, a fourni 66 charbons de diverses essences ligneuses : *Corylus*, *Fagus sylvatica*, *Pomoïdeae* et *Quercus* F. C. Il a été observé et seulement sur les charbons de chêne, quelques hyphes de champignon, sur l'extrémité extérieure des charbons et filant dans les cellules du bois ainsi que de la pourriture cubique carbonisée.

- US 11016

La sablière carbonisée en *Quercus* F. C., 11016, a donné lieu à une analyse anthracologique sur 60 charbons. Il a été comptabilisé quatre charbons avec des hyphes blancs filant dans les cellules du bois ainsi que neuf galeries d'insectes xylophages. Parmi ces dernières, correspondant à 6,67 % de l'ensemble de la sablière, huit galeries (de 0,9 à 1,4 mm de diamètre) ciblent les zones de parenchyme du bois, comme l'US 10706 (FIGURE 93 a.), alors que la dernière galerie est bien différente. Elle mesure 3,8 mm de diamètre et possède de nombreux copeaux de bois en guise de déjection (FIGURE 93 b.). Ce type de galerie est encore inconnu dans la base de données, elle reste pour l'heure indéterminée.

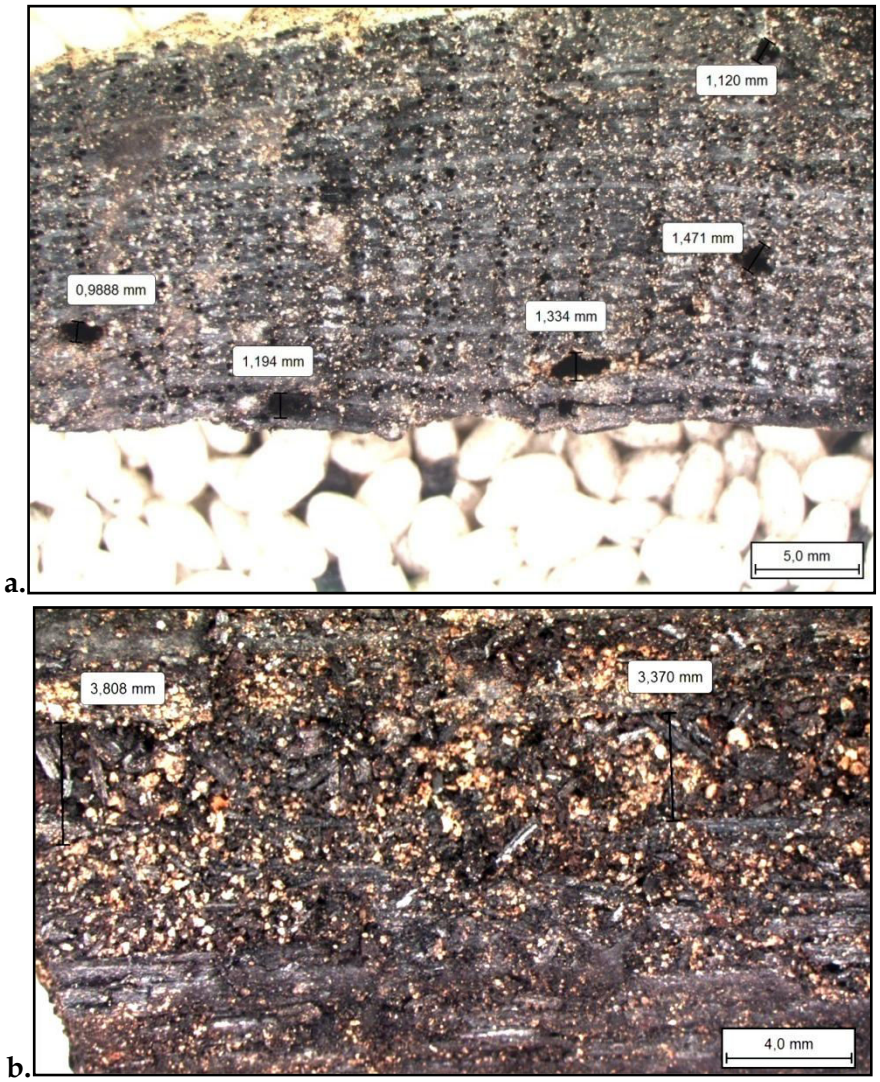


FIGURE 93 - a. Coupe transversale de *Quercus* F. C. avec galeries ciblées sur les zones du bois initial. *Cf. Lyctus*.
b. Coupe tangentielle avec galerie de 3,8 mm et ses vermoulures, indéterminées.

- US 11088

L'US 11088 a été prélevé et interprété à la fouille comme étant une paroi effondrée et carbonisée. 93 charbons ont été observés et se répartissent en plusieurs essences ligneuses : *Corylus* (neuf fragments), *Fagus* (30 fragments), *Fraxinus* (six fragments), *Quercus* F. C. (38 fragments) et *Tilia* (10 fragments). Les charbons de *Corylus* n'ont aucune trace d'infestation, de plus il s'agit probablement d'une seule et même brindille. Les charbons de *Fraxinus* montrent quant à eux des hyphes et de la pourriture cubique carbonisée sur tous les fragments. Les charbons de hêtre, chêne et tilleul ont eux aussi des hyphes et de la pourriture cubique, mais on dénombre aussi des galeries de différents insectes xylophages, respectivement 19, 32 et 70 galeries (TABLEAU 61).

	Fragments observés	***Anobium***	**Cerambycidae**	**Indet**
Corylus	9	0	0	0
Fagus	30	0	1	17
Fraxinus	6	0	0	0
Quercus	38	32	0	0
Tilia	10	0	0	70
TOTAUX	**93**	**32**	**1**	**87**

TABLEAU 61 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur l'US 11088.

Pour le chêne, les galeries sont rondes, bien régulières, et vont de 0,5 à 2,2 mm de diamètre. La vermoulure fusiforme y est bien conservée dans 14 d'entre elles, caractérisant alors une attaque d'*Anobium punctatum*[431] (PLANCHE 26 a et b). Dans les 18 autres cas, la vermoulure est moins nette, on note alors *cf. A. punctatum*.

Pour le hêtre, on retrouve une galerie ronde de 1,6 mm de diamètre contenant des copeaux de bois d'une espèce inconnue pour l'heure. On recense également une galerie ovale de 2,2 mm de diamètre, typique de la famille des Cerambycidae (PLANCHE 26 c.). Enfin, on note la présence de 17 galeries rondes à irrégulières, de 0,7 à 3,3 mm de diamètre sans vermoulure ou fondue. Il est, en l'état actuel des connaissances, impossible de savoir à quelle famille ces galeries appartiennent.

Pour le tilleul, environ 70 galeries sont dénombrés sur seulement 10 fragments. De petites tailles (0,3 à 1,3 mm), elles sont rondes voire irrégulières, comme sur le hêtre (PLANCHE 26 d. et e). On ne peut pas affirmer avec certitude qu'il s'agit de la même espèce de xylophage, pour l'instant indéterminée. La vermoulure est très carbonisée et vitrifiée.

[431] FOHRER *ET AL.* 2017.

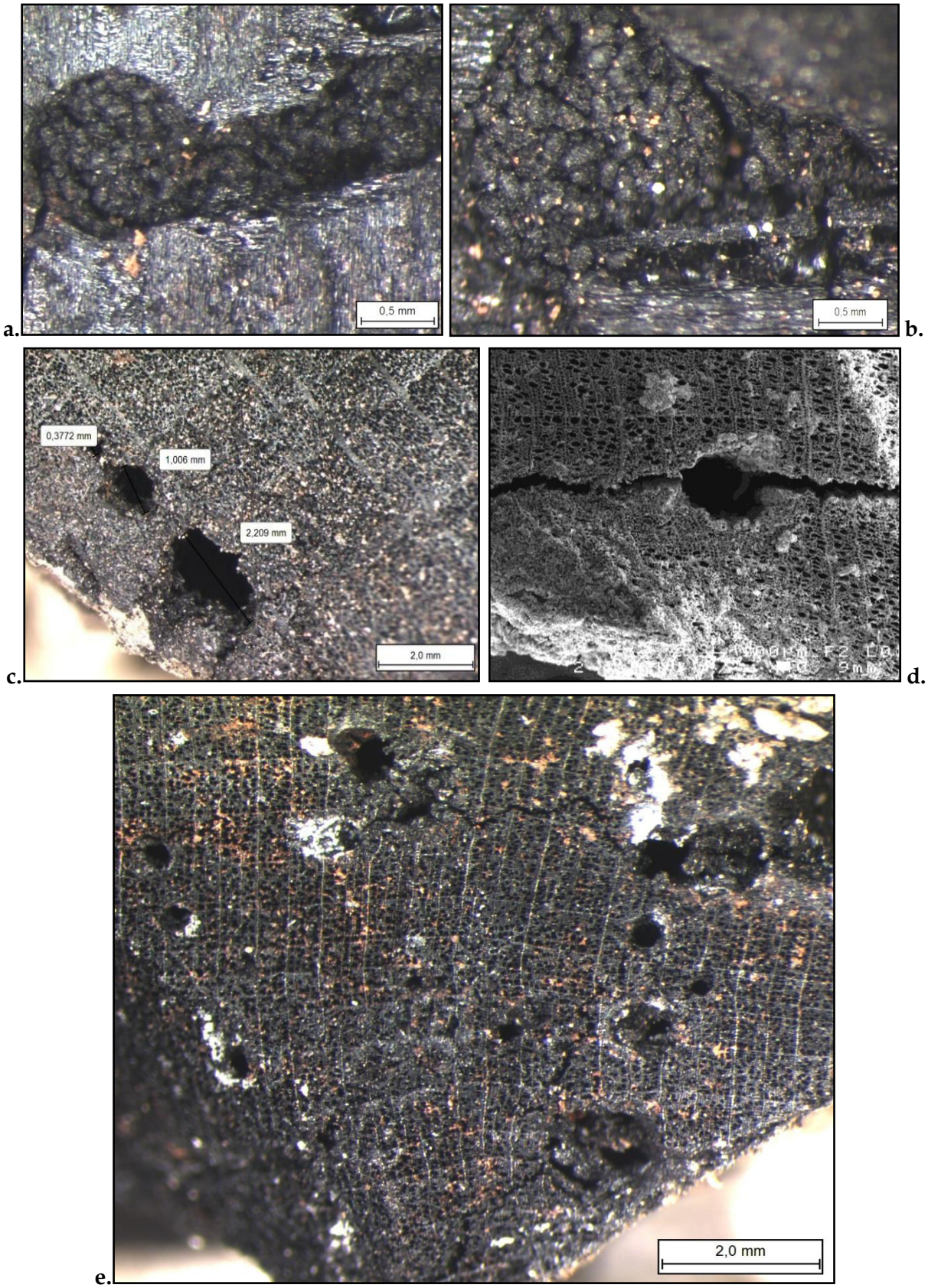


PLANCHE 26 - a. Coupe radiale de *Quercus* F. C. avec galerie ronde remplies de vermoulures fusiformes de type *Anobium punctatum*. **b.** Zoom sur les vermoulures fusiformes. *Anobium punctatum*. **c.** Coupe transversale de *Fagus* avec des galeries ovales de type *Cerambycidae*. **d. et e** Coupe transversale de *Tilia* avec une galerie (L. JOANNY, CMEBA) ; avec une quinzaine de galeries indéterminées.

- US 20406

La sablière carbonisée 20406 a bénéficié d'une analyse sur 32 charbons de chêne F. C. On constate la présence, sur tous les fragments, d'hyphes de champignon et de pourriture cubique carbonisée. On compte également deux galeries de forme irrégulière, d'environ 0,5-0,6 mm de diamètre, avec de la vermoulure fondue indéterminable.

- US 70435

L'US 70435 est un prélèvement de bois carbonisé de hêtre dont la fonction est inconnue. 50 charbons ont été analysés, parmi eux, sept présentent des traces de pourriture cubique carbonisée. On dénombre également 67 galeries rondes remplies de vermoulures fusiformes, de type *Anobium punctatum* ou *cf. A. punctatum* pour les vermoulures plus vitrifiées.

- US 70444

La sablière carbonisée en chêne F. C. 70444 a donné lieu à une analyse archéoentomologique sur seulement quatre charbons (un seul pour l'analyse anthracologique). Aucun d'entre eux ne présente de trace d'infestation.

- US 70760

70760 correspond à un ensemble de 40 petits charbons liés à des enduits peints. Lors de l'analyse anthracologique, H. SEIGNAC avait observé 30 fragments. Après reconstitution dans la mesure du possible, une dizaine de fragments sont en chêne et 32 en aulne. Le chêne ne présente guère de traces d'infestation hormis quelques hyphes actuels. En revanche, sept charbons d'aulne sont colonisés par de la pourriture cubique, soit presque 22 %. De plus, sur 28 des 32 fragments, soit 80%, contiennent 58 galeries d'insecte xylophage. Ces dernières sont de deux types : huit d'entre elles (environ 14 %) sont ovales de 1,5 à 3,5 mm de diamètre, c'est-à-dire de type Cerambycidae (FIGURE 94 a.) ; et les 50 autres (86 %) sont des galeries petites et rondes, généralement de taille inférieure ou aux alentours de 1 mm de diamètre. Ces dernières forment un réseau de galeries à l'intérieur du bois, la vermoulure est hétérogène mais trop vitrifiée pour être mesurée. Il s'agit probablement de galeries faites par un insecte de type C*ossoninae* (FIGURE 94 b.).

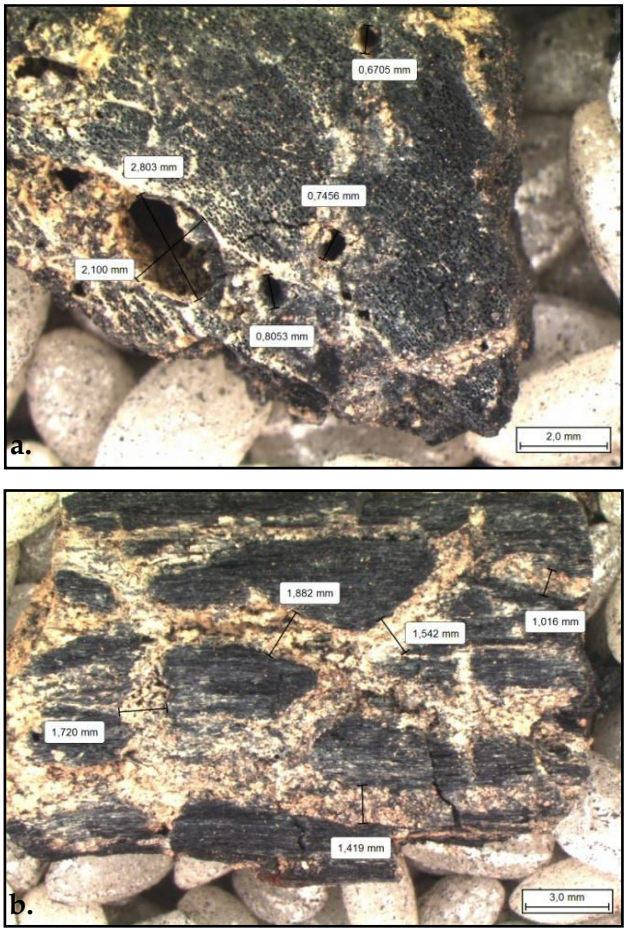


FIGURE 94 - a. Coupe transversale de *Fagus sylvatica* avec une galerie ovale de type Cerambicydae. **b.** Coupe tangentielle avec réseau de galeries de type *Cossoninae*.

C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE

L'approche de l'état sanitaire des différents bois provenant des îlots d'habitation, du quartier des Jacobins, soulève plusieurs problèmes d'infestations de bois d'œuvre lors de la seconde moitié du IIe s. et au début du IIIe s. apr. J.-C.

- Des arbres choisis sains ?

Selon l'étude d'H. SEIGNAC, les bois de constructions proviennent vraisemblablement des environs proches du site. Les boisements de chênes et de hêtres sont exploités ainsi que leurs lisières comprenant des noisetiers et des Pomoïdées. Le tilleul se trouve plutôt dans les taillis sous futaies en forêt. La présence de l'aulne et du frêne renvoie à l'existence d'une forêt humide, non loin du site[432].

Hormis les traces de xylophages indéterminées pour la paroi en bois 11088 qui concerne le tilleul et le hêtre, cette étude n'a pas donné d'indication sur une éventuelle infestation des arbres vivants. Maintenant, il n'est pas possible d'affirmer que les bois choisis pour la construction des îlots étaient sains au moment de leur coupe, compte tenu de la faible proportion des bois observés/conservés. La vision peut être biaisée. L'interprétation archéologique concernant le tilleul rencontré au niveau de la paroi 11088, tend vers un objet manufacturé indéterminé. Si cela avait été le cas, il est fortement probable que l'infestation de celui-ci aurait été lancée par des insectes de la famille des Ptinidae (vrillettes), ce qui n'est pas le cas ici. La manière dont le bois est attaqué peut faire penser à du bois mort plutôt humide (présence de la pourriture cubique).

- Un problème d'humidité général ?

Quel que soit l'îlot et la phase d'occupation, il convient de constater que parmi les 13 échantillons, 10 d'entre eux possèdent des traces de pourriture cubique. Ce champignon lignivore, carbonisé et donc présent au moment de l'occupation, laisse derrière lui des déformations du bois symptomatique d'une forte humidité ambiante et d'une humidité contenue dans le bois (entre 50 et 60 %) pendant une durée suffisamment longue pour favoriser son développement[433]. De plus, dans le cas des enduits et des bois d'aulne[434] effondrés (l'US 70760) la présence avérée de la famille des charançons du bois (cossoniné), appuie l'hypothèse d'une infiltration d'eau, très appréciée de cette famille, par les murs, le sol ou le plafond par exemple. En parallèle, ces résultats concernent principalement les sablières, c'est-à-dire du bois posé au sol et donc plus enclin à absorber l'humidité du sol. Seule la sablière 70444 (îlot 2) n'a aucune trace de champignon ou d'insecte. Or ce n'est pas du tout représentatif car il s'agit d'un seul fragment de charbon observé/conservé.

[432] SEIGNAC 2016 (*in*: LE CLOIREC 2016d) - étude anthracologique. Vol. 7, 2127-2135.
[433] CTBA 1996 ; informations orales colloque IPM 2016 (Paris).
[434] La fonction de l'aulne dans cette US n'est pas déterminée avec exactitude : pieu, drain, tournerie, sculpture ; mais pourquoi ce serait au plafond ?

- Les attaques sur les bois ouvragés

Les infestations les plus importantes concernent le bois après sa mise en place dans l'architecture et ne sont pas forcément liées à un champignon ou à l'humidité nécessaire au développement des insectes en question, sauf pour l'*Anobium* qui privilégie un bois infesté de champignon, mais dont la présence n'est pas essentielle à sa survie.

Lors de l'utilisation des bois, on peut constater que quatre échantillons sont infestés par des insectes xylophages typiques du bois ouvragé du type *Anobium punctatum* (la paroi 11088 et le niveau d'incendie 70435) et *Lyctus* (la sablière 11016 et le plancher 10706) (TABLEAU 62), respectivement à 26 % et 6 % de l'ensemble des infestations du site. Ces espèces interviennent dans la dégradation du bois lorsque celui-ci est ouvragé, écorcé et sec. Ils peuvent éventuellement s'immiscer lors d'une phase de stockage sous abri lorsque l'écorce a été retirée. Dans le cas des pièces de bois ouvragées concernées, il est possible d'estimer que l'infestation a eu lieu au moment où les structures étaient déjà en fonctionnement. En revanche, la durée minimum de ces infestations correspondant aux cycles évolutifs des espèces (quatre ans pour la vrillette et deux ans pour le lycte) ne peut pas être précisément déterminée puisque les structures n'ont pas été prélevées dans leur totalité[435].

a.

Îlot	US	Fonction	Infestation	Champignon carbonisé
I	10784	sablière	non	oui
I	11016	sablière	oui (*lyctus*)	non
II	11088	paroi	oui (*A. punctatum*, Cerambycidae, indet.)	oui
II	70435	niveau d'incendie	oui (*A. punctatum*)	oui
II	70444	sablière	non	non
III	20406	sablière	indet.	oui

b.

Îlot	US	Fonction	Infestation	Champignon carbonisé
I	10296-10300-10341-10342	plancher	non	oui
I	10466	sablière	non	oui
II	10706	plancher	oui (*lyctus*)	oui
II	70760	plafond ?	oui (*cossoninae*, Cerambycidae)	oui

TABLEAU 62 - Tableau résumant les divers types d'infestation et la fonction du bois. **a.** Les structures de la phase III. **b.** Les structures de la phase V.

Les structures attaquées lors de la phase III par l'*Anobium punctatum* concernent la paroi 11088 (chêne) et le niveau d'incendie 70435 (hêtre). Ces deux US sont concentrées dans le même îlot et plus particulièrement sur sa partie nord. Cet insecte étant sinanthrope, on peut s'interroger sur le pourquoi de son absence sur toutes les autres pièces de l'îlot, voire du site. D'autant plus que cette espèce infeste aisément diverses essences ouvragées dès lors que celles-ci sont mis en œuvre. Il est difficile d'en savoir plus en raison du manque d'échantillonnage.

À l'inverse, les structures infestées par le *lyctus*, exclusivement sur du chêne, sont issues d'îlots et de périodes différents : la sablière 11016 et le plancher 10706. Cet état de fait indique

[435] Cycle de développement, *cf.* Chapitre II, pages 108.

une probable infestation de plus grande ampleur que ce que les résultats archéoentomologiques bruts montrent. L'étude spatiale des galeries selon les divers éléments du plancher 10706 aurait été enrichissante, notamment pour mieux comprendre l'origine spatiale de l'infestation par le lycte. Seulement un échantillon de ce plancher ayant été prélevé, cette approche est impossible.

Les analyses d'H. SEIGNAC sur les mesures de cernes des chênes[436], faites à partir de la méthodologie établie par D. MARGUERIE et J.-Y. HUNOT[437], fournissent l'hypothèse d'exploitation du bois provenant de biotopes variés, notamment des futaies denses, lisières et friches ou clairières. Les mesures les plus intéressantes, car contenant le plus de charbons analysés, concernent justement le plancher 10706 et la sablière 11016 dont les bois proviendraient d'une futaie. Il serait alors intéressant d'étudier les différences d'implantation du lycte selon l'origine environnementale du chêne infesté. Peut-être le chêne en futaie produit-il plus d'amidon (ce que le lycte cible) qu'un chêne de taillis ?

Enfin, la question demeure en suspens pour les cas de Cerambycidae sur les prélèvements 11088 et 70760 (même îlot mais phase différente). En effet, sur les 146 espèces possibles attaquant les feuillus, moins d'une quinzaine attaquent le bois ouvragé. Les autres espèces ont pu intervenir durant la vie de l'arbre ou après sa coupe lors d'une phase de stockage. Cette dernière hypothèse semble peu probable dans le cas des Jacobins car les échantillons concernés ne présentent pas d'écorce, essentielle au développement de ces espèces cambiophages.

- Taphonomie des vestiges et conservation des charbons après le prélèvement

Les hyphes de champignon, blancs et filandreux, ou en amas, ont été systématiquement découverts sur les bordures externes des échantillons. De même, les deux mues de scolopendre (espèce non xylophage) observées sur 10341 et 10706 illustrent une microfaune vivant dans les réseaux racinaires actuelles ou récents intervenant sur les vestiges enfouis et pouvant dans certains cas les dégrader rapidement[438]. Lors de l'observation archéoentomologique effectuée en 2016, il a été constaté que certains prélèvements étaient toujours humides (fouille terminée en 2013), ce qui a grandement pu faciliter le développement de champignons actuels.

- Un site d'un fort potentiel, mais...

Compte tenu du type de prélèvement effectué par rapport à d'autres sites présentés dans ce travail, on ne peut pas aller plus loin dans l'interprétation ni rendre celles présentées ci-dessus plus fiables. C'est le cas en particulier pour le plancher (10706), pour lequel nous savons qu'il est attaqué par le lycte, mais nous ne pouvons pas aller au-delà de cette simple identification à l'inverse de ce qui a été développé pour les sites de Rezé, du col d'Adon et de Camelin.

En parallèle, le même problème de prélèvement est à signaler pour le plancher 10296-10300-10341-10342 avec quatre éléments isolés prélevés sur 16 visibles en fouille. Les analyses ont identifié le chêne comme essence de construction. Cependant, il n'est pas

[436] SEIGNAC 2016 (*in*: LE CLOIREC 2016) - étude anthracologique. Vol. 7, 2134.
[437] MARGUERIE et HUNOT 2007.
[438] MOSKAL-DEL HOYO *ET AL.* 2010.

possible d'être sûr que les autres bois étaient eux aussi en chêne et s'ils étaient sains ou non. Cet état de fait est quelque peu regrettable car il aurait été intéressant de comparer le plancher entier avec d'autres du même site, voire celui de camelin (US 3775)[439]. Ci-après, une liste non exhaustive des structures nommées dans le rapport de fouille mais non analysées/prélevées a été dressée (TABLEAU 63). Il faut souligner l'importance des observations de terrain et des prélèvements en archéologie[440]. Néanmoins, il faut également noter la difficulté du contexte de la fouille préventive et de la grande quantité de vestiges dont il a été question. Les prélèvements ont été faits en fonction des problématiques au moment de la phase de terrain ; elle-même s'est déroulée sur 19 mois étalés sur trois ans et elle n'a pas concerné que la période romaine[441]. Enfin, il faut noter qu'il n'y a pas eu, ou très peu, de visite d'anthracologues sur le site pour guider le prélèvement, un fait peut-être symptomatique de l'archéologie à l'heure actuelle.

Îlot	Phase	US	Fonction présumée
Cardo A	II	?	Niveau incendié
Cardo B	II	?	Niveau incendié
Carrefour *cardo/decumanus*	II	11126	Remblai d'incendie
I	II	12306-12302	Creusements contenant des charbons
I	II	12116	Plancher
I	II	11621	Sablière
I	II	13002	Sablière
I	II	41053	Couche de charbon au fond d'une fosse rectangulaire
I	III	10912	Épandage rubéfié et charbonneux
I	IV	À proximité du pilier 10543	Éléments carbonisés effondrés
I	IV	51458	Poutre
I	IV	40947	Pièce de bois contre un mur en pierre
I	IV	40876	Fosse remplies de charbons
I	V	10544	Cloison carbonisée
II	II	11755	Four avec charbons
II	III	50385	Sablière
II	III	50125	Épandage charbonneux
II	V	10705	Cloison carbonisée
II	V	10416	Plancher
II	V	10366	Effondrement enduits et charbons

TABLEAU 63 - Liste non exhaustives des US de la période romaine de *Condate* non prélevées (estimation du nombre sur observation des photographies du rapport d'opération).

[439] *Cf.* page 350.
[440] *Cf.* Chapitre II, page 106.
[441] Deux volumes sont entièrement consacrés aux nombreuses tombes du couvent plus tardif.

III. Les bois ouvragés du site du col d'Adon, les Mujouls (Ier –IIIe siècle apr. J.-C.)

A. Données archéologiques : présentations des échantillons

La fouille triennale du site du col d'Adon (06), entre 2009 et 2011, a vu la mise au jour de 10 structures en bois carbonisées dans un horizon d'abandon/destruction de la fin du IIe s. de notre ère d'un établissement rural. Ces structures concernent divers aménagements en bois de l'habitat rural gallo-romain découvert à près de 1000 m d'altitude[442]. La plupart de ces structures sont composées de plusieurs bois, sous forme de planches ou de linteaux qui ont été isolés et prélevés individuellement. Au total, 72 pièces de bois ont été analysées pour cette étude de cas et proviennent des espaces notés 3, 4 et 5 de l'habitat. L'espace 1, bordant la partie nord-est de l'habitat ainsi que l'espace 2, l'espace 6 où le rocher affleure, et à l'ouest l'espace 7, n'ont pas fourni de structures carbonisées (Tableau 64 ; Figure 95 ; Figure 96).

US	Secteur	Nbre d'éléments isolés prélevés
4002	3	5
4021	4	1
4030	5	8
4032	4	2
4048	4	1
4051	3	1
4070	5	1
4090	5	40
4094	5	9
4095	5	4

Tableau 64 - Liste des structures en bois carbonisé analysées.

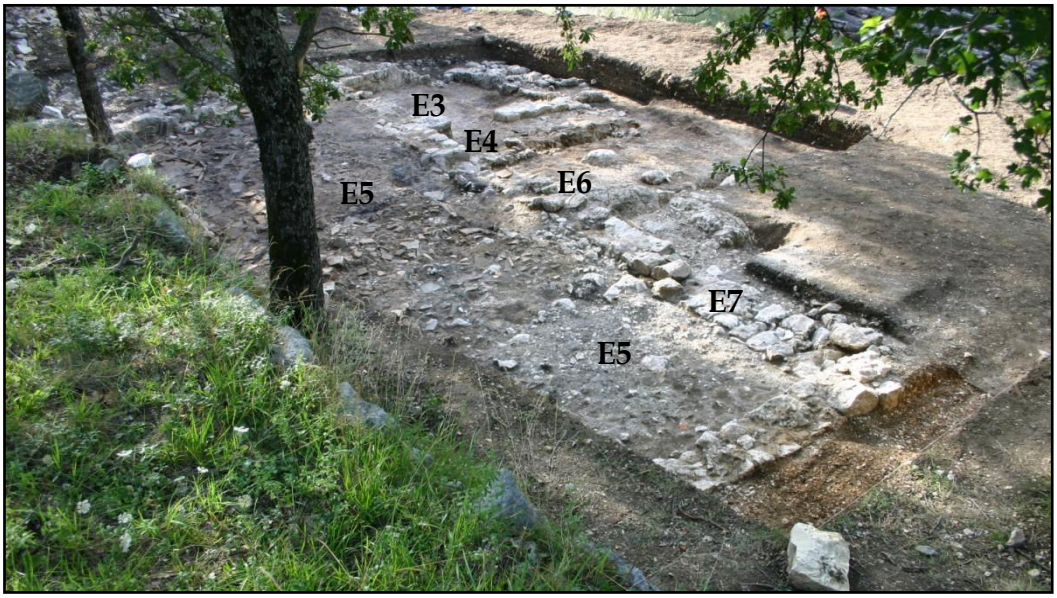


Figure 95 - Vue générale du site depuis le haut d'une terrasse moderne au nord, localisation des espaces, cl. R. Golosetti.

[442] *Cf.* Chapitre III, page 154.

FIGURE 96 - Plan des vestiges carbonisés prélevés, DAO V. DUMAS.

1. Les espaces 3 et 4

Divers prélèvements ont été effectués au sein des espaces 3 et 4 au cours des différentes campagnes de fouilles. La partie ouest présente un seul accès (de 90 cm de large) menant à l'espace 4. D'une surface trapézoïdale (3,15 x 2,7 m) et encadré par des murs maçonnés, l'espace 3 accueillait dans son dernier état plusieurs vases de stockage (retrouvés *in situ* ou matérialisés par leur empreinte dans le sol), dont le *dolium* DL 4028[443], proposant l'hypothèse d'une pièce de stockage des denrées. L'espace 4 est de plus petites dimensions (1,20 x 2,90 m), peut-être un passage entre l'espace 5 (*cf. infra*) et l'espace 3. La séquence stratigraphique du dernier état concerne les niveaux de sol 4073 (espace 3) et 4033 (espace 4), situé par-dessus 4032 dans l'espace 4 puis le niveau d'abandon (4051) et enfin le niveau de destruction de la toiture 4002 qui sont communs aux espaces 3 et 4[444].

- US 4002

Située dans l'espace 3 et 4, l'US 4002 correspond au niveau de destruction de la toiture. Cette dernière est composée de nombreuses *tegulae* et de cinq éléments en bois carbonisés, aux limites floues, et individualisés pour le prélèvement. Ces échantillons sont notés : 4002 CH 1 à CH 5.

- US 4051

Dans l'espace 3, l'US 4051 a fourni une bûche carbonisée posée sur une pierre taillée rectangulaire et a donc été prélevée d'un seul tenant. La fonction de cette unité stratigraphique concorde avec celle de l'US 4002 : un niveau d'abandon/destruction de l'espace.

- US 4032

Le niveau charbonneux 4032 se trouve au nord de l'espace 4. La couche se compose de tuiles à plat et de 17 clous vraisemblablement en place dans la partie cendreuse. De taille entre 2,5 et 6 cm de long à l'exception d'un unique clou de charpente de 10 cm, certains de ces clous ont été découverts en place, fichés dans les charbons. Deux éléments carbonisés distincts de l'ensemble du niveau ont été repérés et prélevés : US 4032 CH1 et US 4032 CH2 (FIGURE 97).

FIGURE 97 - Vue depuis le nord du niveau 4032, cl. R. GOLOSETTI.

[443] *Cf.* Chapitre III, page 158.
[444] GOLOSETTI *ET AL.* 2010.

2. L'espace 5

La majorité des structures en bois carbonisé découvertes sur le site appartiennent à l'espace 5. Situé au nord des espaces 3 et 4, cet espace est bien délimité par la fouille comme par les prospections géomagnétiques. Il s'agit vraisemblablement d'une pièce à vivre avec un vaste foyer circulaire aménagé[445]. L'ensemble, fouillé en deux campagnes, présente une épaisse couche de démolition de la toiture (*tegulae* et charbons), ayant protégé les structures brûlées en dessous qui elles-mêmes reposent sur le niveau de circulation 4030 identifié (FIGURE 98).

FIGURE 98 - Vue depuis l'est de l'ensemble de l'espace 5. Foyer en céramique visible au premier plan et à l'arrière plan : l'épaisseur du niveau de destruction. Cl. R. GOLOSETTI.

- US 4021, 4030 et 4048

Plusieurs échantillons provenant des US 4021, 4030 et 4048 se composent de bois dispersés et isolés, le niveau le plus important étant l'US 4030 avec huit éléments en bois mis au jour, notés CH 1 à CH 8. Ils se présentaient sous forme de petites planches ou bien en charbons concentrés aux limites plus floues. Il s'agit probablement des niveaux de destruction de la toiture comme pour l'US 4002 dans les espaces 3 et 4.

- US 4070

Un linteau en bois carbonisé, US 4070, de grandes dimensions (138 x 18 cm) a été mis au jour au niveau du seuil SL 4071 (106 cm de long pour 66 cm de large) au sud de l'espace (FIGURE 99). Deux clous de charpente ont été retrouvés fichés dans le bois. En 2011, un échantillonnage en section de l'ensemble de la structure a été mis en œuvre avec J.-L. ÉDOUARD[446].

FIGURE 99 - Linteau carbonisé 4070, cl. R. GOLOSETTI.

[445] *Cf.* Chapitre III, page 158-159.
[446] *Cf.* Chapitre II, page 83-84.

- US 4090

Au sein de la partie ouest de l'espace 5, le niveau d'abandon 4090, sous le niveau de destruction de la toiture, est très riche en éléments en bois carbonisé, clous et *tegulae*. L'examen de ce niveau a pris beaucoup de temps de fouille au cours des deux dernières campagnes, notamment en raison de l'importance du nombre de structures sur une petite surface. Les investigations ont mis au jour 40 planches et bûches de tailles diverses et suivent la notation : 4090 CH 1 à 4090 CH 40) (TABLEAU 65 ; FIGURE 100 ; FIGURE 101). Chacune d'elles a été relevée topographiquement, enregistrée sur une fiche puis prélevée individuellement. L'ensemble des structures forme un complexe de 3,50 x 2 m environ. Elle est limitée pour sa partie sud-ouest par une fosse allongée et peu profonde, interprétée comme étant une sablière basse (TR 4122), donnant ainsi une limite nette à l'ensemble. Enfin, elle est bordée à l'est par la structure 4094.

Structure	Longueur	Largeur	Épaisseur
CH1	22,3	15	2,3
CH2	26,4	12,4	1,5-2
CH3	11,2	6,7	1-1,5
CH4	51	5	1,5
CH5	31	8	2
CH6	40	24	2
CH7	20	8	4
CH8	21	18	6
CH9	10,1-12	5,8	1,5
CH10	12,1-15	6,7	2
CH11	25	13	3
CH12	11,6	6,1	1,8
CH13	16	13	1,5
CH14	74	30	4,2
CH15	58	31	5
CH16	42	28	7
CH17	44	7,1-9	6,1-8
CH18	25,3	5,2	1,2
CH19	11	9	1,5
CH20	27	9	3
CH21	87	26	3,5
CH22	25	18	2
CH23	20	16	5
CH24	21,5	9,5	3
CH25	27	8	4
CH26	55,8	27,6	2,8
CH27	22	19-21	3
CH28	25	8	4
CH29	18,9	9,3	2,2
CH30	26,7	21,9	2,6
CH31	13	7	1,4
CH32	39,8	19,4	2,4
CH33	19,3	13,2	1,1
CH34	43,6	27,8	2,2
CH35	58,6	14-18	1,2-2,5
CH36	42	12,3	1-1,5
CH37	41,3	21,7	2,4-2,9
CH38	18,2	7,4	1,3
CH39	36,3	30	1,5
CH40	29	8	2

TABLEAU 65 - Mesures des pièces carbonisées de l'US 4090.

FIGURE 100 - Niveau 4090 en cours de fouille. La limite ouest est bien visible. cl. R. GOLOSETTI.

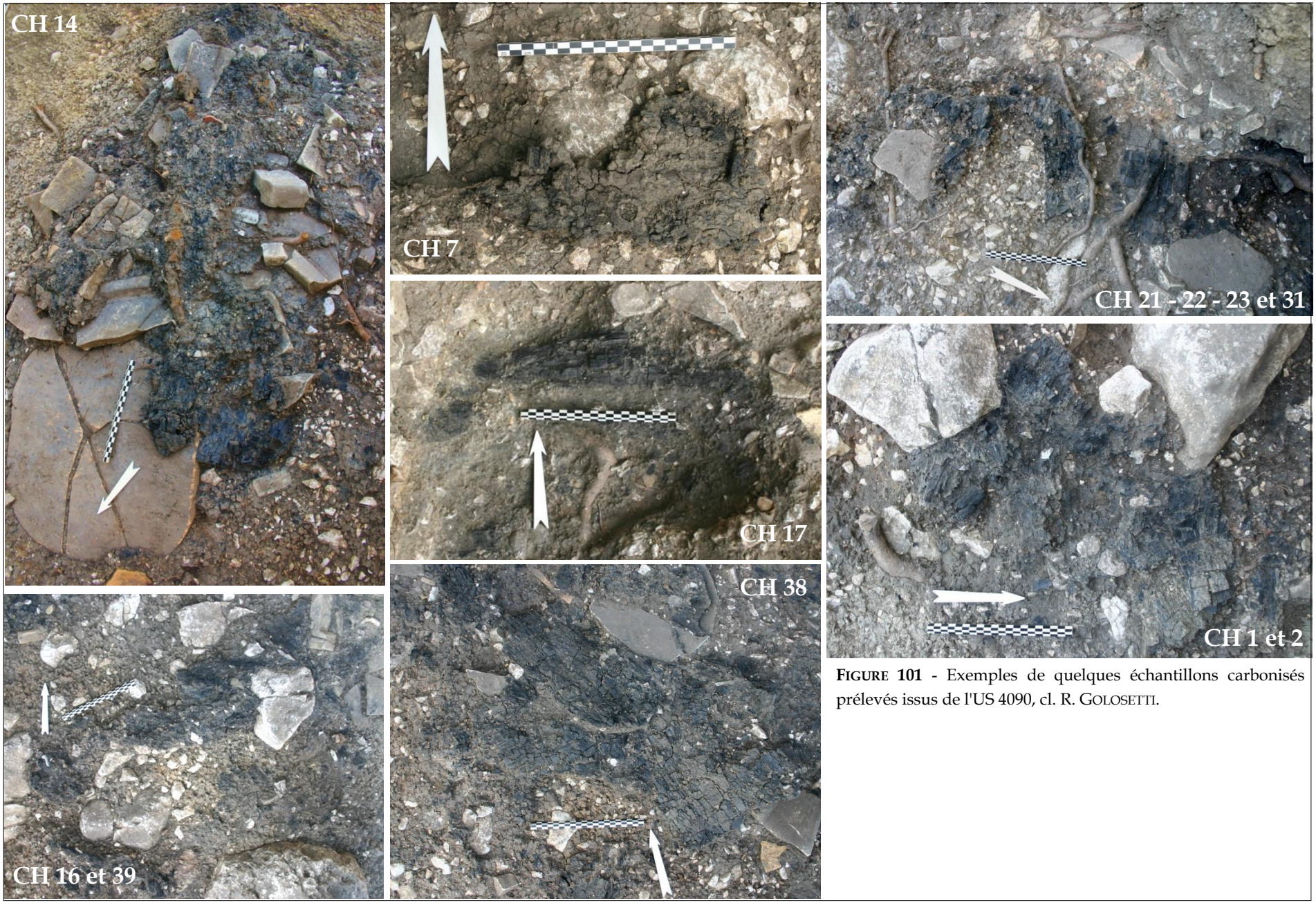


FIGURE 101 - Exemples de quelques échantillons carbonisés prélevés issus de l'US 4090, cl. R. GOLOSETTI.

- US 4094

Mise au jour en 2010, la structure 4094 est une vaste concentration de structures carbonisées répandues à proximité immédiate du linteau 4070. Cette structure est située au nord et dans l'axe de SL 4071. L'ensemble est composé de 10 planches et bûches carbonisées, notées de 4094 CH A à I. À la fouille, l'ensemble de ces structures et des négatifs donnaient une forme rectangulaire de 187 cm (nord-sud) pour 169 cm (est-ouest) au minimum (FIGURE 102 ; TABLEAU 66).

FIGURE 102 - Vue zénithale de la structure 4094, cl. V. DUMAS.

Structure	Longueur	Largeur	Épaisseur
ST 4094 A	27	28	3
ST 4094 B	52	20	4
ST 4094 C	42	19	2,2
ST 4094 D	41	27	2,6
ST 4094 E	14	5	2
ST 4094 F	55	23	2,4
ST 4094 G	28	12	2,5
ST 4094 H	55	5	2
ST 4094 I	39	9	3

TABLEAU 66 - Mesures des pièces carbonisées de l'US 4094.

- US 4095

Sous le niveau de démolition de la toiture et sur le sol de circulation de l'habitat, une couche charbonneuse s'est révélée à proximité immédiate du foyer (FY 4089) avec lequel il semble fonctionner (FIGURE 103). Cette structure se trouve plus précisément à l'est et au pied du foyer. Ses contours à la fouille demeuraient flous mais formaient un ensemble quadrangulaire de dimension maximale de 100 cm sur 117 cm. Quatre concentrations plus charbonneuses ont été repérées et prélevées, notées de US 4095 CH A à D).

FIGURE 103 - Vue du niveau 4095, au pied du foyer en céramique FY 4089, cl. R. GOLOSETTI.

B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES

1. Résultats généraux

a. L'analyse anthracologique

Pour l'ensemble des structures analysées, un total de 21 taxons[447] sur 5722 charbons de bois a été observé et identifié (FIGURE 104 ; TABLEAU 67). Les échantillons ont bénéficié, dans la mesure du possible, d'une analyse comprenant 60 à 100 fragments chacun afin d'obtenir des statistiques fiables.

- Particularités anatomiques des fragments

Lors de l'analyse des charbons de bois, diverses particularités anatomiques (présence de nœud, de départ de branche, de thylle....) ont parfois été observées. Parmi les 5722 charbons observés, aucun ne présente d'écorce et une quarantaine de fragments possède le duramen de l'arbre et des départs de branches (US 4090 et 4094) ; et de nombreux nœuds ont été observés sur les prélèvements de l'US 4090. Enfin, environ 30 % des feuillus (chêne F. C.) analysés possèdent des thylles dans les vaisseaux.

- Le bois de compression

Au sein de l'ensemble des conifères attestés sur le site, le bois de compression a pu être caractérisé selon une échelle[448] de mesure créée spécialement pour l'étude de ce site archéologique. Elle semblait pertinente à établir compte tenu du lieu (les pré-alpes) et de la nature des bois majoritaires (conifères).

[447] Présentation anatomique de l'essence : Annexe 1, Volume II, page 4.
[448] *Cf.* Chapitre II, page 91.

En général, le bois de compression est très faible voire absent pour tous les bois, soit 68 %. Seuls quelques échantillons des US 4090 et 4094 possèdent un bois de compression modéré à élevé.

- La vitrification

Pour l'ensemble des bois du site, la vitrification demeure à un niveau assez faible (stade 0 à 1), pour un taux d'environ 65 % des bois, hormis pour quelques fragments des structures de l'US 4090, 4094, 4095 et 4002 : stade 0 à 5 selon l'échantillon. 30 % de la vitrification est modérée et 2 % est à un taux élevé.

- La calcification

Le phénomène de calcification est présent sur les charbons de bois du col d'Adon de façon modérée : stade 0 à 2 principalement, soit plus de 80 % des bois. Les stades de calcification élevés (3 et 4), représentant moins de 13 %, sont visibles sur les échantillons des US 4090, 4094 et 4095.

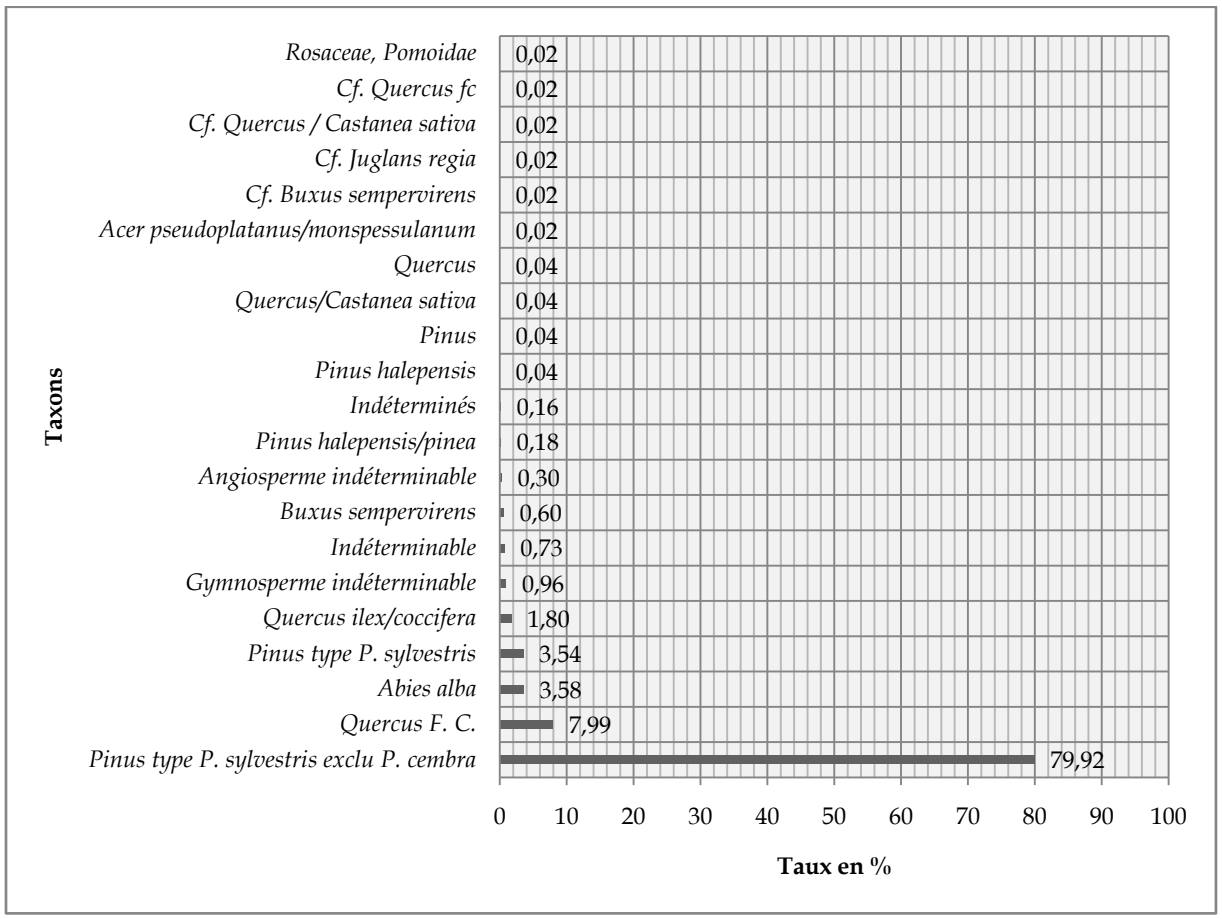


FIGURE 104 - Diagramme représentant les proportions de l'ensemble des taxons identifiés à l'analyse.

Un plan général des vestiges avec la projection des diverses essences affiliées est présenté ci-après (FIGURE 105).

- Les gymnospermes identifiées

Le pin de type sylvestre (excluant le pin cembro) arrive largement en première position avec un taux de 80,27 %, soit 4493 fragments sur les 5722. 3,54 % des fragments analysés

n'ont pas permis d'exclure la possibilité d'avoir du pin cembro et sont donc restés notés *Pinus* type *sylvestris*.

Le sapin blanc (*Abies alba*) est attesté à 3,48 %, soit 201 fragments de charbons de bois. Il s'agit des échantillons 4094 H et de 4090 CH 8.

Le taxon *Pinus halepensis/P. pinea*, présent uniquement au sein de la structure 4002, est représenté par l'identification de 10 charbons sur les 5722, donnant ainsi un pourcentage de 0,17 %. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), a pu être clairement identifié pour deux fragments, soit 0,03 %.

Enfin, l'identification fut plus complexe en raison de la vitrification et/ou de la calcification forte de certains fragments qui sont alors restés notés *Pinus* (deux fragments) ou gymnospermes indéterminables (54 fragments).

- Les angiospermes identifiées

Le taxon *Quercus* F. C. de type méditerranéen est la deuxième essence la plus présente sur le site, avec 449 charbons de bois, soit 7,86 % du total des échantillons analysés. Seul un fragment est resté noté *cf. Quercus* F. C., faute de détails anatomiques conservés. Deux n'ont pas pu être identifiés au-delà de l'espèce *Quercus.* Deux autres fragments (0,03 %) n'ont pas présenté de rayons multisériés et, laissant un doute, ils ont été notés *Quercus* F. C. */ Castanea sativa.* Enfin, un dernier charbon (0,02 %) présentait moins de détail encore et a été noté *cf. Quercus* F. C. */Castanea sativa*.

Un autre type de chêne a été déterminé sur le site du col d'Adon, plus particulièrement au sein de la structure 4002 CH 2. Il s'agit du *Quercus ilex/Q. coccifera*, identifié pour une centaine de fragments, soit 1,75 %.

Vient ensuite *Buxus sempervirens* (buis commun) avec 34 charbons sur les 5622 au total, soit 0,59 %. Il est à noter qu'un fragment n'a pas fourni toutes les caractéristiques (perforation scalariforme), il a donc été identifié comme *cf. Buxus sempervirens,* c'est-à-dire probablement du buis.

Le taxon d'érable (*Acer pseudoplatanus/A. monspessulanum*) est attesté par seulement un charbon, soit 0,02 %.

De même, un seul charbon de bois a été caractérisé, de manière conditionnelle, comme étant potentiellement du *Juglans regia* (noyer commun), noté *cf. Juglans regia*, car il manque quelques caractéristiques pour l'affirmer (ponctuations spécifiques).

Pour terminer sur les feuillus, il n'a pas pu être possible d'aller plus loin dans l'identification de 17 fragments de charbons de bois, qui sont enregistrés en tant qu'Angiospermes indéterminables, représentant 0,30 % de l'ensemble.

Enfin, quelques charbons indéterminés demeurent (Angiospermes et Gymnospermes confondus), à hauteur de 0,16 %.

US \ Taxon	*Abies alba*	*Acer pseudoplatanus/A. monspessulanum*	*Buxus sempervirens*	*Cf. Buxus sempervirens*	*Cf. Juglans regia*	*Cf. Quercus* F. C./ *Castanea sativa*	*Cf. Quercus* F. C.	*Pinus halepensis*	*Pinus halepensis/pinea*	*Pinus*	*Pinus* type *P. sylvestris*	*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*	*Quercus* F. C./*Castanea sativa*	*Quercus* F. C.	*Quercus ilex/coccifera*	*Quercus*	*Rosaceae, Pomoidae*	Indéterminés	Angiospermes indéterminables	Gymnospermes indéterminables	Indéterminables	Totaux
4002	-	-	-	-	-	-	-	2	10	2	19	381	-	-	100	-	-	-	-	4	2	**520**
4021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	-	1	-	**100**
4030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	613	-	74	-	-	-	-	3	-	4	**694**
4032	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**28**
4048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	3	-		**29**
4051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**100**
4070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	**100**
4090	101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	159	2438	-	135	-	-	-	-	-	39	18	**2890**
4094	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	709	-	1	-	-	-	-	-	1	-	**825**
4095	-	1	10	1	1	1	1	-	-	-	6	250	2	114	-	2	1	9	11	9	17	**436**
Totaux	**201**	**1**	**34**	**1**	**1**	**1**	**1**	**2**	**10**	**2**	**199**	**4593**	**2**	**450**	**100**	**2**	**1**	**9**	**17**	**54**	**41**	**5722**
Total en %	**3,51**	**0,02**	**0,59**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,03**	**0,17**	**0,03**	**3,48**	**80,27**	**0,03**	**7,86**	**1,75**	**0,03**	**0,02**	**0,16**	**0,30**	**0,94**	**0,72**	**100**

TABLEAU 67 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées.

b. L'analyse entomologique

Lors de l'analyse des échantillons au microscope, divers restes d'arthropodes[449], de champignons sous forme d'hyphes ou filaments ainsi que des galeries d'insectes xylophages ont été observés et enregistrés sur certaines structures en bois ouvragé.

L'ensemble des charbons infestés (archéologiquement et taphonomiquement) représentent 27,54 % de l'ensemble des charbons observés (1576 fragments). Au sein des 5722 charbons analysés, on dénombre 1345 galeries d'insectes xylophages, soit 23,51 %. Les 4 % restant concernent les traces taphonomiques, même s'il est difficile de ne pas traiter des mêmes fragments[450]. Le nombre de fragments où des arthropodes et des hyphes de champignons ont été observés représente respectivement 2,64 % et 9,56 % de l'ensemble. Les observations sur déformations fongiques de type pourriture cubique n'ont pas fourni de résultat (TABLEAU 68).

US	Nb de charbons analysés	Nb de fragments avec arthropodes	Nb de fragments avec hyphes de champ.	Nb de fragments présentant des traces	Nb total de galeries	Essence(s) infestée(s)
4002	520	12	113	132	17	Pin de type sylvestre (ex P. cembro)
4021	100	0	19	28	14	Pin de type sylvestre (ex P. cembro)
4030	694	10	164	252	115	Pin de type sylvestre (ex P. cembro) ; Chêne F. C.
4032	28	0	0	0	0	-
4048	29	0	0	0	0	-
4051	100	4	50	51	0	Pin de type sylvestre (ex P. cembro)
4070	100	1	1	2	0	Chêne F. C.
4090	2890	101	45	925	1185	Pin de type sylvestre (ex P. cembro), Chêne F. C., Sapin
4094	825	17	79	99	10	Pin de type sylvestre (ex P. cembro), Sapin
4095	436	6	76	87	4	Pin de type sylvestre (ex P. cembro)
TOTAUX	**5722**	**151**	**547**	**1576**	**1345**	-
%	**100**	**2,64**	**9,56**	**27,54**	**23,51**	-

TABLEAU 68 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.

- Les arthropodes

Les organismes (non xylophages) observés[451] possèdent une couleur variable du blanc à l'orange foncé, d'une taille variable comprise entre 10-15 µm à 4-5 mm et appartiennent à différentes familles, sans pour autant pouvoir être déterminés à l'espèce (FIGURE 106 ; PLANCHE 27 a à d) :

- Des collemboles et les tardigrades ont été reconnus sur plusieurs fragments.
- Plusieurs restes d'araignées récentes ont également été observés sous la loupe binoculaire, sur les parties extérieures des charbons de bois.

[449] Rappel définition arthropode dans le Glossaire, page 481.
[450] *Cf.* Conclusion générale.
[451] Identifications et informations Philippe PONEL et Fabien FOHRER.

FIGURE 105 - Plan général des vestiges : représentation des essences identifiées, DAO V. DUMAS.

- La famille des *Scolopendridae* (scolopendre) a pu être déterminée à partir des mues de larves blanches présentes dans un bon nombre de galeries, qui elles, sont calcifiées et fossilisées par la carbonisation.

FIGURE 106 - Exemples d'arthropodes observés sur les charbons de bois du col d'Adon, cl. pris au microscope à réflexion.

- *Les champignons*

Il a été constaté la présence d'hyphes de champignons, de couleur blanc à jaunâtre, parcourant la surface des échantillons sous la forme d'amas ou de filaments blancs (mycélium) ou légèrement orangés (PLANCHE 27 e et f). Plus de cinq cent charbons du site ont été infestés par ces hyphes, dont la plupart reste indéterminables. Toutefois, quelques cas de 4090 semblent se rapprocher des analyses menées par M. MOSKA-DEL-HOYO[452]. Ce qui identifierait la présence de la pourriture brune et molle.

- *Les insectes xylophages*

Pour 28 % de l'ensemble des structures, il s'agit d'infestation du bois causée par des insectes xylophages. Leur présence est attestée via l'observation des galeries, mais plus particulièrement par des vermoulures. Certaines de ces vermoulures représentent une famille, voire même une espèce de xylophage distincte[453]. Ainsi, pour l'ensemble des bois ouvragés de l'habitat du col d'Adon, l'infestation est causée essentiellement par deux familles (TABLEAU 69 ; PLANCHE 27 g et h) :

- La famille la plus représentée est celle des Ptinidae avec deux espèces identifiées. La plus présente est *Anobium punctatum* (la vrillette des meubles ou vrillette commune)[454] à plus de 87 % de l'ensemble des galeries analysées, soit 1178 galeries. Cette espèce a été observée sur

[452] MOSKAL-DEL HOYO *ET AL.* 2010, 2106-2116.
[453] *Cf.* Chapitre II, page 95.
[454] *Cf.* Volume III, page 93.

toutes les structures carbonisées présentant des galeries (PLANCHE 28 a et b). La grande vrillette (*Xestobium rufovilosum*)[455] est la deuxième espèce recensée dans les charbons de bois de cinq éléments en pin de type sylvestre de l'US 4090 CH 8, CH 9, CH 17, CH 21 et CH 40, représentant 2,2 % des infestations (PLANCHE 28 c et d).

- La seconde famille attestée est celle des Cérambycidés[456] au faible taux de 0,2 %. Ces galeries ovales typiques de taille supérieure à 3 voire 4 mm (*cf. infra*), ont été observées sur des fragments de l'US 4090 (CH8 et CH10).

- Les 135 galeries restantes, soit 10 %, sont pour l'heure indéterminées. Ces galeries sont de petites tailles (environ 1 mm, voire moins) rondes à irrégulières, mais surtout, il convient de noter que la carbonisation n'a pas permis la bonne conservation d'une éventuelle vermoulure. Trop de possibilités sont susceptibles d'intervenir dans ces cas. En effet, il pourrait s'agir d'insectes strictement xylophages formant de la vermoulure comme le lycte ou le charançon du bois, ou bien d'insectes xylophages sans vermoulure (fourmis) ou d'autres arthropodes plus petits intervenants dans la dégradation du bois et des moisissures (décomposition avancée) (PLANCHE 28 e et f).

US	Nb total de chb analysés	Nb. Galeries	*Anobium punctatum*	*Cerambycidae*	*Xestobium rufovilosum*	Indeterminés
4002	520	17	5	0	0	12
4021	100	14	6	0	0	8
4030	694	115	69	0	0	46
4090	2890	1185	1088	3	29	65
4094	825	10	6	0	0	4
4095	436	4	4	0	0	0
TOTAUX	**5465**	**1345**	**1178**	**3**	**29**	**135**
%	**-**	**100**	**87,6**	**0,2**	**2,2**	**10**

TABLEAU 69 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.

[455] *Cf.* Volume III, Atlas des insectes xylophages, page 127.
[456] *Cf.* Volume III, Atlas des insectes xylophages, page 35.

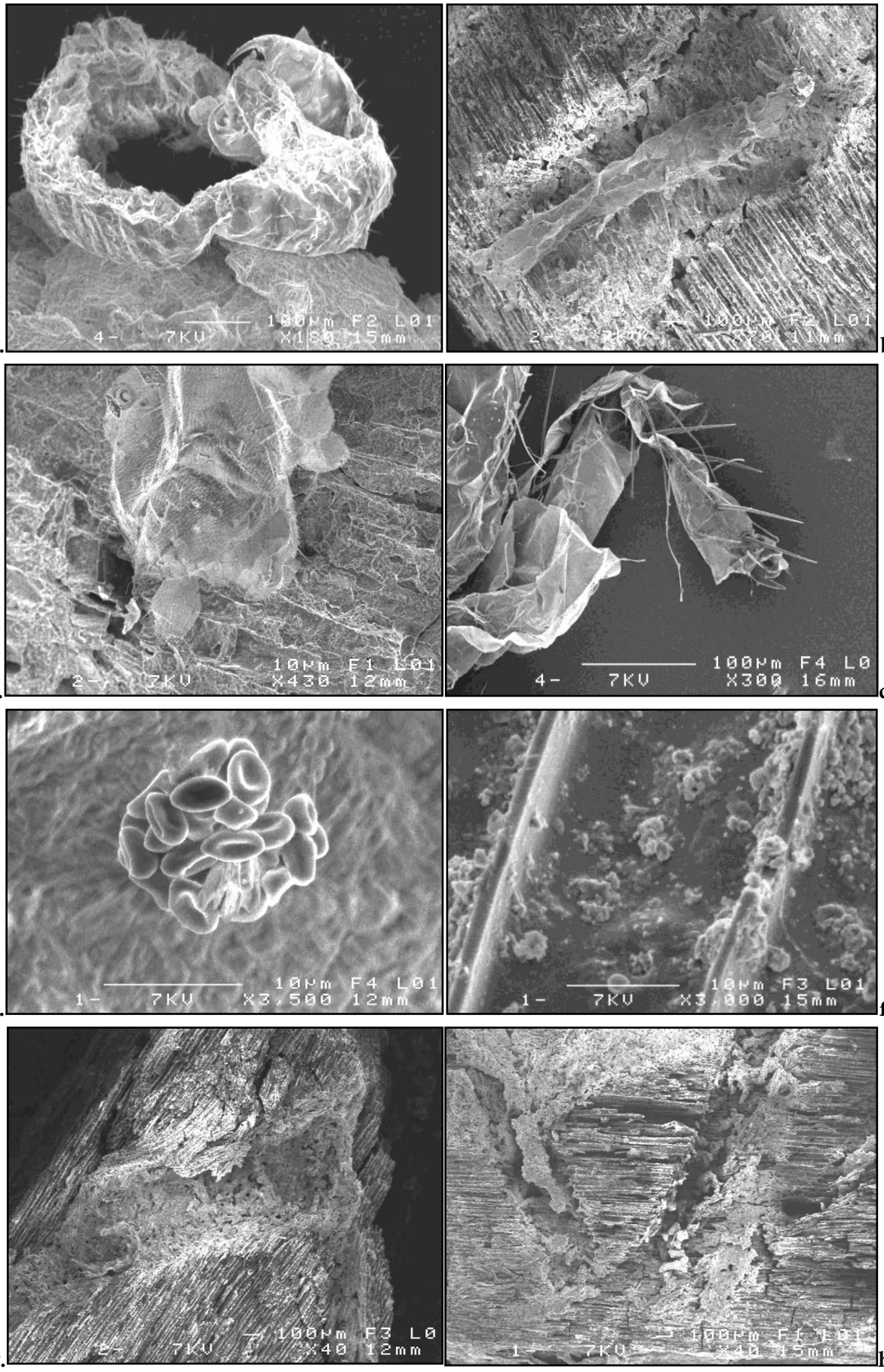
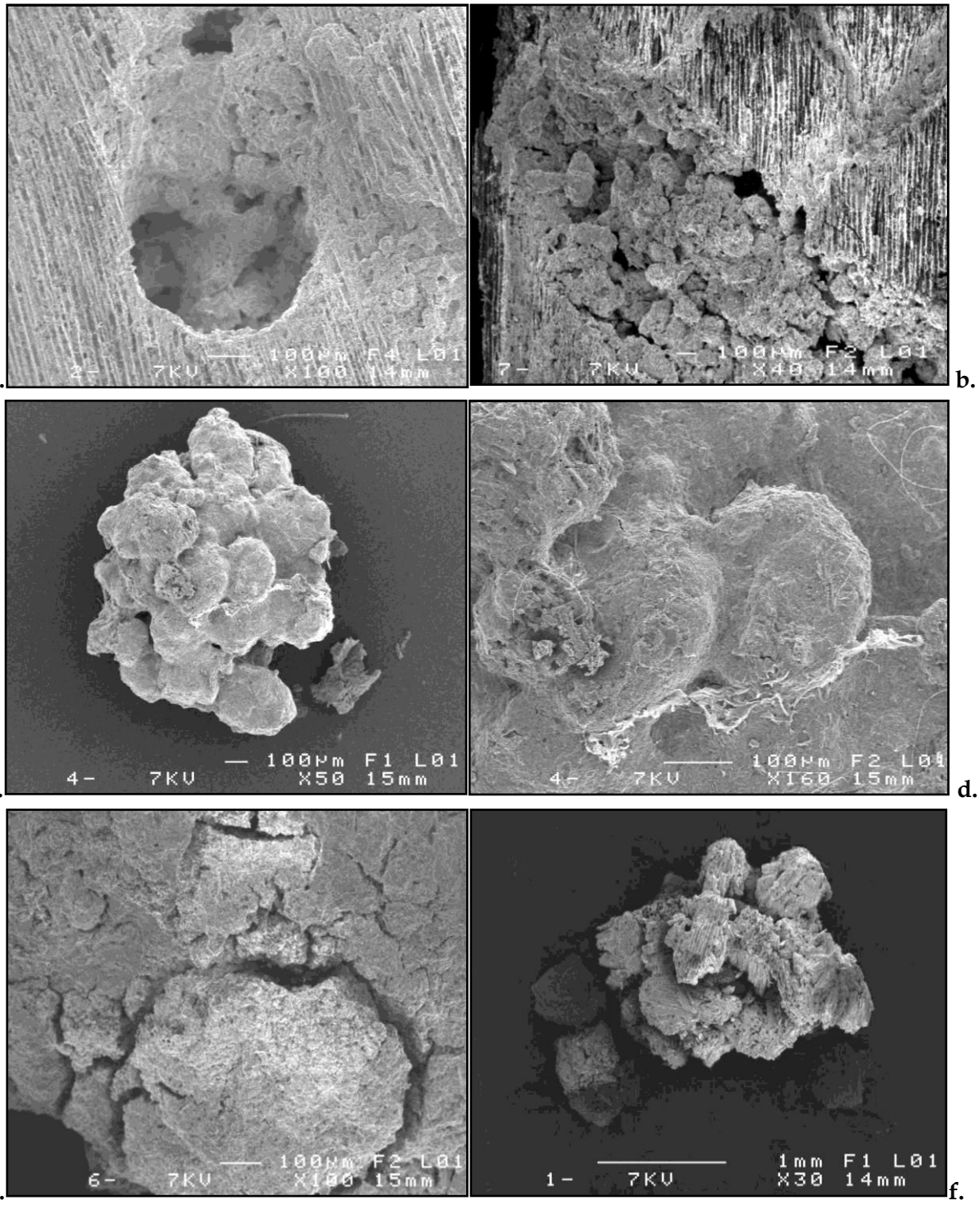


PLANCHE 27 - a à d. Exemples d'arthropodes non carbonisés de type *Scolopendria.* **e et f.** Amas d'hyphes de champignon. **g et h.** Galeries de type indéterminée car vermoulure trop carbonisée ou absente.



a. **b.** **c.** **d.** **e.** **f.**

PLANCHE 28 - a. Galerie ronde carbonisée de type *Anobium punctatum*, US 4090. **b.** Profil de galerie de type *Anobium punctatum*, avec vermoulure fusiforme, US 4090. **c et d.** Vermoulure lenticulaire carbonisé de *Xestobium rufovilosum*, US 4090. **e et f.** Amas de vermoulure carbonisés indéterminés, US 4090.

2. Résultats bruts détaillés par structure

a. L'US 4002

- Anthracologie

Les échantillons de l'US 4002 (Espace 3 et 4) se présentent sous la forme de petites concentrations de charbons se répartissant de part et d'autre de l'accès entre les deux espaces. L'analyse anthracologique montre une certaine diversité des essences parmi les 520 charbons observés. En effet, malgré la forte présence du taxon *Pinus* type *sylvestris* excluant *P. cembra* (prélèvements 4002_1, 3, 4 et 5), cet espace comporte d'autres essences telles que le chêne vert (4002 CH 2) et le pin d'Alep (4002 CH 1), qui n'ont pas été attestées ailleurs sur le site. L'ensemble des échantillons présente une vitrification faible, une calcification modérée et du bois compression pour les éléments en pin. Ce taux est anormalement élevé pour les pins de type sylvestre des échantillons CH 1 et CH 4 (FIGURE 107)[457].

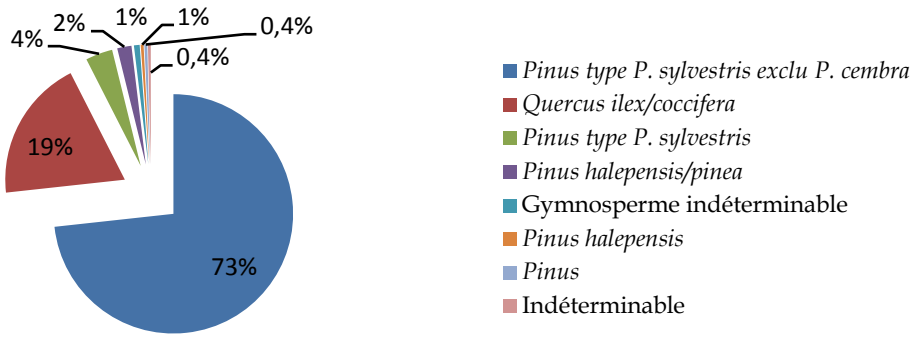


FIGURE 107 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4002.

- Entomologie

Un total de 25,38 % des bois présente des traces de 113 hyphes de champignon, d'arthropodes au nombre de 12 individus de type *Tardigrada*, *Collembola* et *Scolopendria* ; et des galeries d'insectes xylophages sont également visibles : 17 galeries ont été enregistrées dont cinq réalisées par *Anobium punctatum* (CH 4 et une galerie de CH 5) (FIGURE 108). Les 70 % autres restent indéterminées.

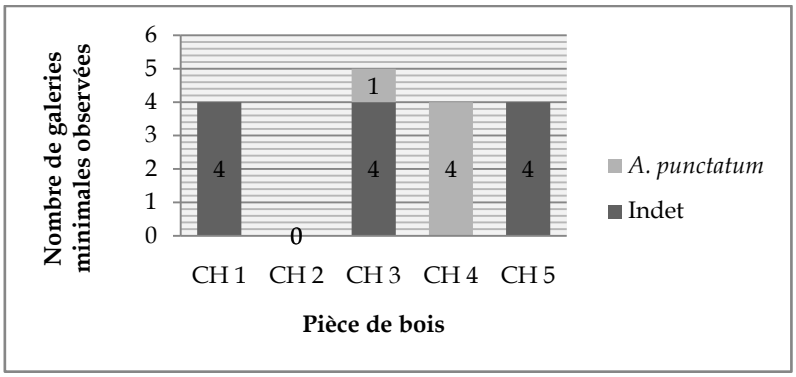


FIGURE 108 - Répartition et effectif des galeries indéterminées et des galeries d'*A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4002.

[457] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n° 70 à 74 - Annexe 6, page 176.

b. US 4021

- Anthracologie

L'US 4021 est entièrement en pin de type sylvestre excluant le pin cembro. Seul un fragment reste indéterminable à cause d'une trop forte vitrification. Dans l'ensemble, cet échantillon ne possède pas de compression et la vitrification et la calcification sont faibles (FIGURE 109)[458].

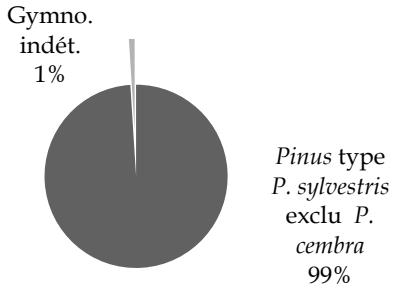


FIGURE 109 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4021.

- Entomologie

Parmi les charbons analysés, 14 % présentent des traces d'hyphes de champignon indéterminés et 14 % concerne des galeries carbonisées. Pour six d'entre elles, *Anobium punctatum* a été identifié tandis que les huit autres demeurent indéterminées.

c. US 4030

- Anthracologie

Un total de 694 fragments de charbons de bois a été analysé pour cette US. Tous les éléments individualisés sont en pin de type sylvestre excluant le pin cembro. Toutefois, il convient de noter, en plus du pin, la présence du chêne F. C. (et d'angiospermes indéterminables) au sein de l'échantillon CH 5 (FIGURE 110)[459]. L'ensemble des pins ne possède pas ou peu de bois de compression. La vitrification est faible et la calcification faible à modérée. La moitié des fragments de chêne présente des thylles dans les vaisseaux du bois initial.

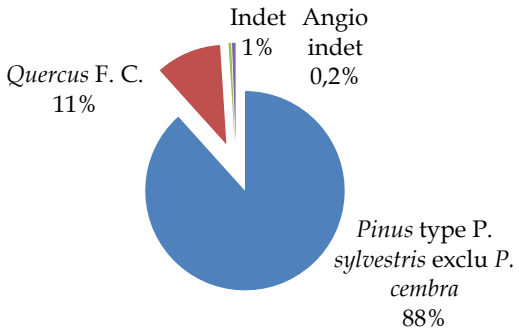


FIGURE 110 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4030.

[458] *Cf.* tableau détaillé n°75, Annexe 6, page 177.
[459] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n°76 à 83, Annexe 6, page 177-178.

- Entomologie

Pour l'ensemble de l'US, 36,31 % des bois sont infestés dont 164 hyphes indéterminés et 10 arthropodes enregistrés. Ces derniers sont des représentants des familles *Tardigrada*, *Collembola* et *Scolopendria.* En ce qui concerne les traces d'insectes xylophages, il a été dénombré 115 galeries uniquement sur les fragments en pin (FIGURE 111). Parmi elles, 60 %, soit 69 galeries ont été identifiées comme appartenant à l'espèce *Anobium punctatum.* Les échantillons touchés par *A. punctatum* sont principalement CH 5 et 7 en totalité, CH 6 à 90 % des infestations, 60 % de CH 1 et 50 % de CH 8. Seul le pin est attaqué. Les galeries restantes (40 %) sont indéterminées.

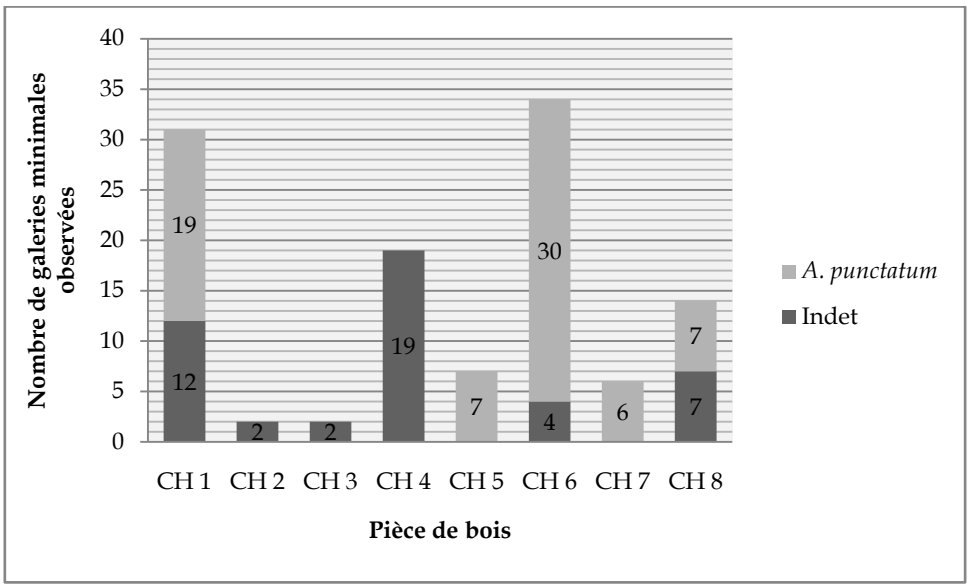


FIGURE 111 - Répartition et effectif des galeries indéterminées ou d'*A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4030.

d. La structure 4032

- Anthracologie

Les deux échantillons de la structure n'ont fourni que peu de charbons (28) comprenant deux essences : le buis à 86 % (4032 CH 1) et le pin de type sylvestre excluant le pin cembro à 14 % (4032 CH 2). L'ensemble, ne présente pas de bois de compression et la vitrification et la calcification sont à un taux faible (FIGURE 112)[460].

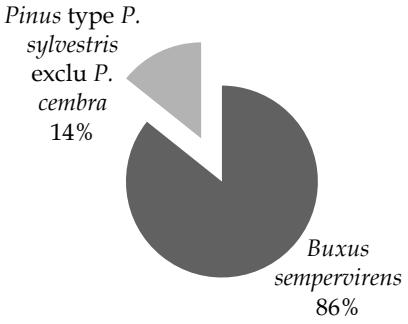


FIGURE 112 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4032.

[460] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n°84 et 85, Annexe 6, page 178.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

e. US 4048

- Anthracologie

La pièce de bois prélevée au sein de l'US 4048 est essentiellement en chêne F. C. à 90 %. 10 % des fragments carbonisés sont restés notés Angiospermes indéterminables à cause d'une calcification trop importante (FIGURE 113)[461]. Pour le chêne, la vitrification et la calcification sont à un taux modéré. Aucun thylle n'a été observé.

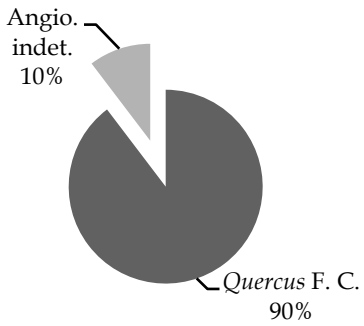


FIGURE 113 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4048.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

f. US 4051

- Anthracologie

Cette bûche est en pin de type sylvestre excluant le pin cembro, sauf pour 1 % des fragments restés notés gymnospermes indéterminables (FIGURE 114)[462]. Située sur une pierre isolée dans l'espace 3, les charbons de cet élément carbonisé présente une calcification modérée, une vitrification faible et quasiment pas de compression. On constate la présence d'un départ de branche d'une taille supérieure à 5 cm de diamètre.

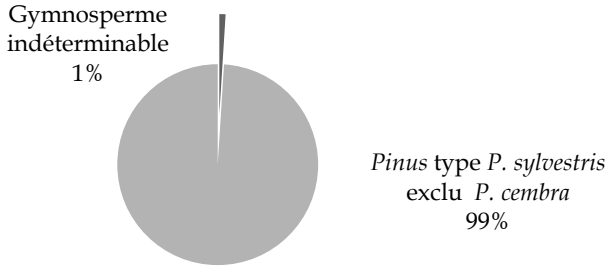


FIGURE 114 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4051.

[461] *Cf.* tableau détaillé n°86, Annexe 6, page 179.
[462] *Cf.* tableau détaillé n°87, Annexe 6, page 179.

- *Entomologie*

Aucune trace de galerie d'insecte xylophage n'a été repérée. En revanche, la moitié des charbons présente des hyphes de champignon indéterminés sur les parties externes des fragments, ainsi que quatre individus de la famille des *Scolopendria*.

g. Le linteau 4070

- *Anthracologie*

Cette pièce est à 100 % en chêne à feuillage caduc de type méditerranéen jeune et de bonne qualité : par la largeur des cernes de croissance qui démontre une croissance rapide et aussi par la quasi-absence de thylles. Les fragments ne présentent guère de vitrification ni de calcification[463].

- *Entomologie*

Aucune trace de galerie d'insecte xylophage n'a été repérée. En parallèle, on compte seulement un fragment avec des hyphes de champignon sous la forme de « ventouse »[464] ainsi qu'une patte d'araignée récente (FIGURE 115).

FIGURE 115 - Champignon indéterminé présent sur l'US 4070.

h. US 4090

- *Anthracologie*

L'ensemble est homogène avec en grande majorité, à près de 84 %, la présence du pin de type sylvestre excluant le pin cembro. L'échantillon CH 8 est en sapin. Un élément, CH 4, est en chêne à feuillage caduc et deux autres CH 7 et CH 14 sont constitués de deux essences (le chêne et le pin) liées par plusieurs clous. Plus particulièrement pour CH 14, l'association des deux essences liées est comprise : le pin représente une bûche (présence de la moelle) et le chêne plutôt une planche. Cependant, il est difficile de déterminer laquelle des deux étaient au-dessus de l'autre lors du fonctionnement de la structure (FIGURE 116 ; TABLEAU 89)[465].

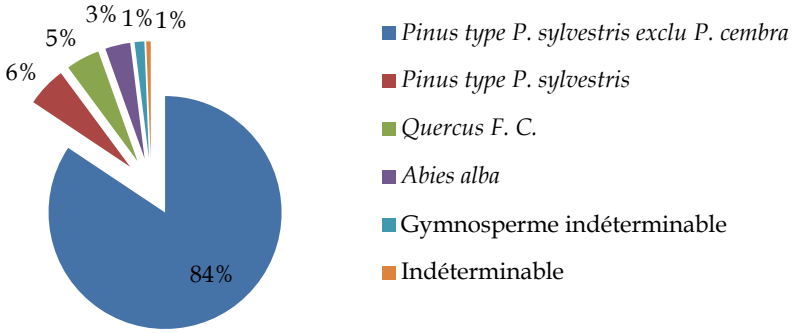


FIGURE 116 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4090.

[463] *Cf.* tableau détaillé n°88, Annexe 6, page 179.
[464] Différents des hyphes en filaments régulièrement observés.
[465] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n°90 à 129, Annexe 6, page 180-188.

Pour l'ensemble de la structure, on remarque trois grandes concentrations d'éléments carbonisés :

- La première allant de CH 18 à CH 40 (sud/nord) et de CH 11 à CH 14 (ouest-est)[466] : au sud de l'ensemble, il s'agit de la concentration comprenant le plus de clous et une *tegula* aux bords arrondis.
- La deuxième, de CH 15 à CH 4 et 37 comprenant CH 1 à 4 - 15 - 21 à 26 - 31- 34 à 38, forme la partie centrale de 4090 avec de nombreux chevauchements de structures.
- La dernière contiendrait les éléments CH 7-8-10-16-17- 27 à 30 et 39. Elle comprend des structures posées à plat et filants sous la coupe nord-ouest de l'espace. Il n'y a pas de chevauchement, mais une succession nette dessine une limite occidentale à 4090.

La majorité des éléments prélevés sont sous forme de planche rectangulaire. Seules les pièces CH 8, 10, 16, 17 et 38 semblent être des bûches non équarries.

Enfin, il convient de noter que le bois de compression est modéré. Les pièces CH 2-5-6 (à l'est de la structure), ainsi que 21-22-26-31 (centre) puis plus épars, CH 12 et 17 présente du bois de compression élevé.

La calcification et la vitrification sont à un taux faible à moyen le plus souvent. Ces taux sont rarement élevés sauf pour CH 3-10-11 et 40. Il est difficile de faire un état général de ces structures car la vitrification et la calcification peut être très variable au sein d'une seule et même pièce.

Des départs de branches sont à signaler sur les pièces CH 4-10-16-24-26-35-38 et 40.

Élément 4090	*Abies alba*	*Pinus* type *P. sylvestris*	*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*	*Quercus* F. C.	Gymnosperme indéterminable	Indéterminable	Totaux
CH 1	-	-	48	-	-	-	**48**
CH 2	-	-	48	-	2	3	**53**
CH 3	-	-	13	-	1	2	**16**
CH 4	-	-	2	40	-	-	**42**
CH 5	-	-	120	-	-	-	**120**
CH 6	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 7	-	-	23	77	-	-	**100**
CH 8	100	-	-	-	-	-	**100**
CH 9	-	18	32	-	-	-	**50**
CH 10	-	30	66	-	-	4	**100**
CH 11	-	37	3	-	3	1	**44**
CH 12	-	-	40	-	1	1	**42**
CH 13	-	2	44	-	-	-	**46**
CH 14	-	16	66	18	-	-	**100**
CH 15	-	-	97	-	3	-	**100**
CH 16	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 17	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 18	-	24	76	-	-	-	**100**
CH 19	-	1	54	-	4	2	**61**
CH 20	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 21	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 22	-	5	95	-	-	-	**100**
CH 23	-	5	32	-	1	-	**38**
CH 24	-	-	33	-	-	-	**33**
CH 25	-	10	90	-	-	-	**100**
CH 26	-	1	94	-	5	-	**100**
CH 27	-	-	56	-	-	-	**56**
CH 28	-	-	26	-	-	-	**26**
CH 29	-	-	38	-	-	-	**38**
CH 30	1	-	70	-	1	-	**72**
CH 31	-	-	62	-	-	-	**62**
CH 32	-	-	30	-	4	-	**34**
CH 33	-	-	34	-	-	-	**34**
CH 34	-	-	99	-	-	1	**100**
CH 35	-	8	78	-	10	4	**100**
CH 36	-	-	70	-	4	-	**74**
CH 37	-	-	56	-	-	-	**56**
CH 38	-	2	43	-	-	-	**45**
CH 39	-	-	100	-	-	-	**100**
CH 40	-	-	100	-	-	-	**100**
Totaux	101	159	2438	135	39	18	**2890**
Total en %	**3,49**	**5,5**	**84,36**	**4,67**	**1,35**	**0,62**	**100**

TABLEAU 89 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4090.

[466] *Cf.* FIGURE 105, page 239.

- Entomologie

Pour 32 % de l'ensemble, la structure 4090 présente des traces d'infestation : hyphes, arthropodes et galeries d'insecte. De nombreux arthropodes (101) ont été repérés, de type *Tardigrada*, *Collembola* et *Scolopendria.* La plupart des hyphes de champignons restent indéterminés. En revanche, environ la moitié (21 hyphes) se rapproche de la pourriture brune et de la pourriture molle telle qu'elle est décrite par M. MOSKA-DEL-HOYO[467] (FIGURE 117).

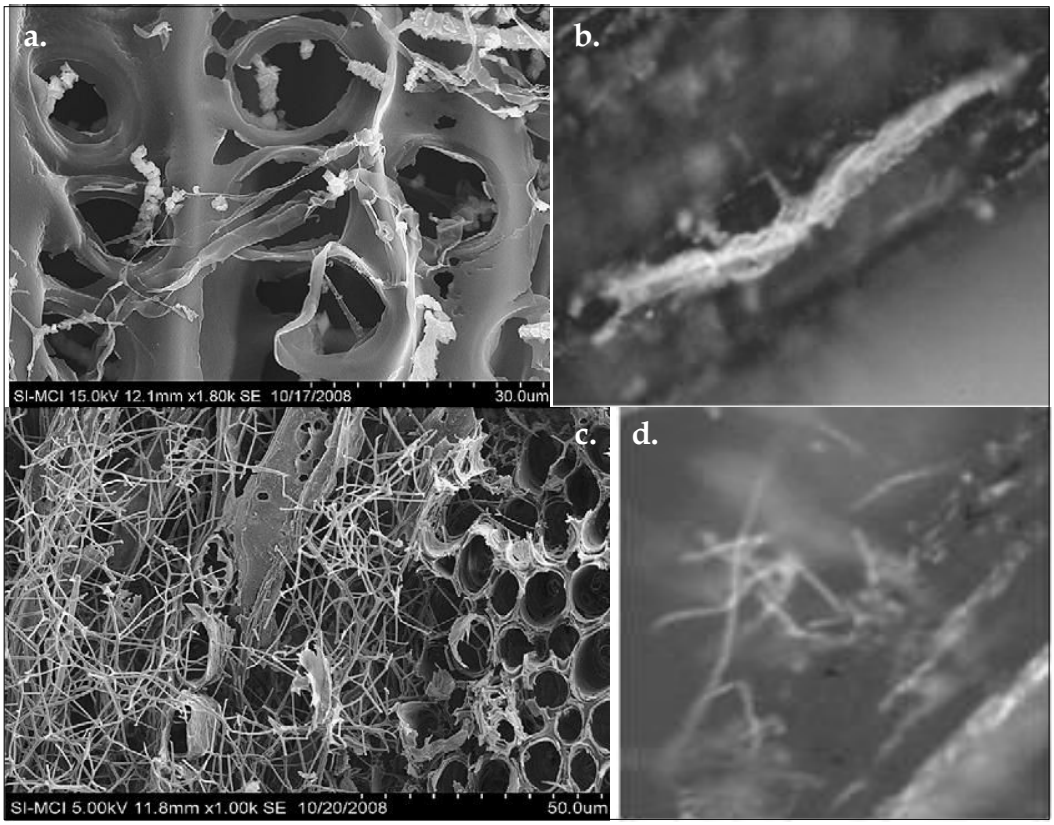


FIGURE 117 - **a.** Hyphe de champignon de type pourriture brune, d'après de MOSKA-DEL-HOYO *et al.* 2010. **b.** Photo microscope d'hyphe de champignon potentiellement de type pourriture brune, US 4090. **c.** Hyphe de champignon de type pourriture molle, tirée de MOSKA-DEL-HOYO *et al.* 2010. **d.** Photo au microscope d'hyphes de champignon potentiellement de type pourriture molle, US 4090[468].

Pour les insectes xylophages, l'ensemble des éléments en pin et en sapin de la structure 4090 présente 1185 galeries. Près de 92 % ont été identifiées comme étant d'*Anobium punctatum*. De la même famille, il y a 2,45 % de *Xestobium rufovilosum*, trouvé uniquement sur les éléments CH 8 - 9- 17 - 21 et 40. La famille des capricornes est présente à 0,25 % (CH 8 et 10). Les 5,49 % restants demeurent des galeries indéterminées. Seul CH 3 et 6 n'ont pas de galerie (FIGURE 118 ; FIGURE 119).

[467] MOSKAL-DEL HOYO *ET AL.* 2010, 2106-2116.

[468] Les photos des hyphes de l'US 4090 datent de 2011. C'est au cours de la rédaction que l'on a souhaité parler de ces hypothèses. Les photos MEB régulièrement présentées ciblaient d'avantage les traces d'insectes xylophages que les hyphes.

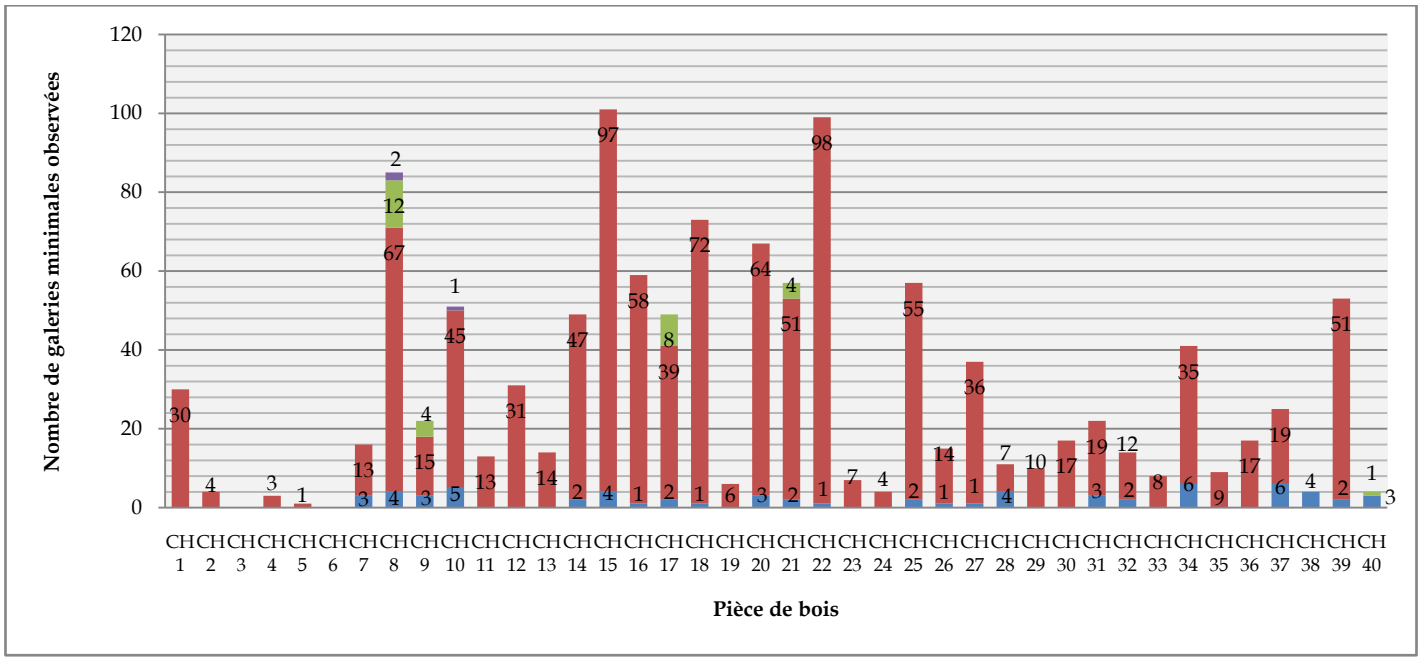


FIGURE 118 - Répartition et effectif des galeries indéterminées (bleu), d'*A. punctatum* (rouge), de *X. rufovilosum* (vert) ou de Cerambicydae (violet), selon les pièces de bois, US 4090.

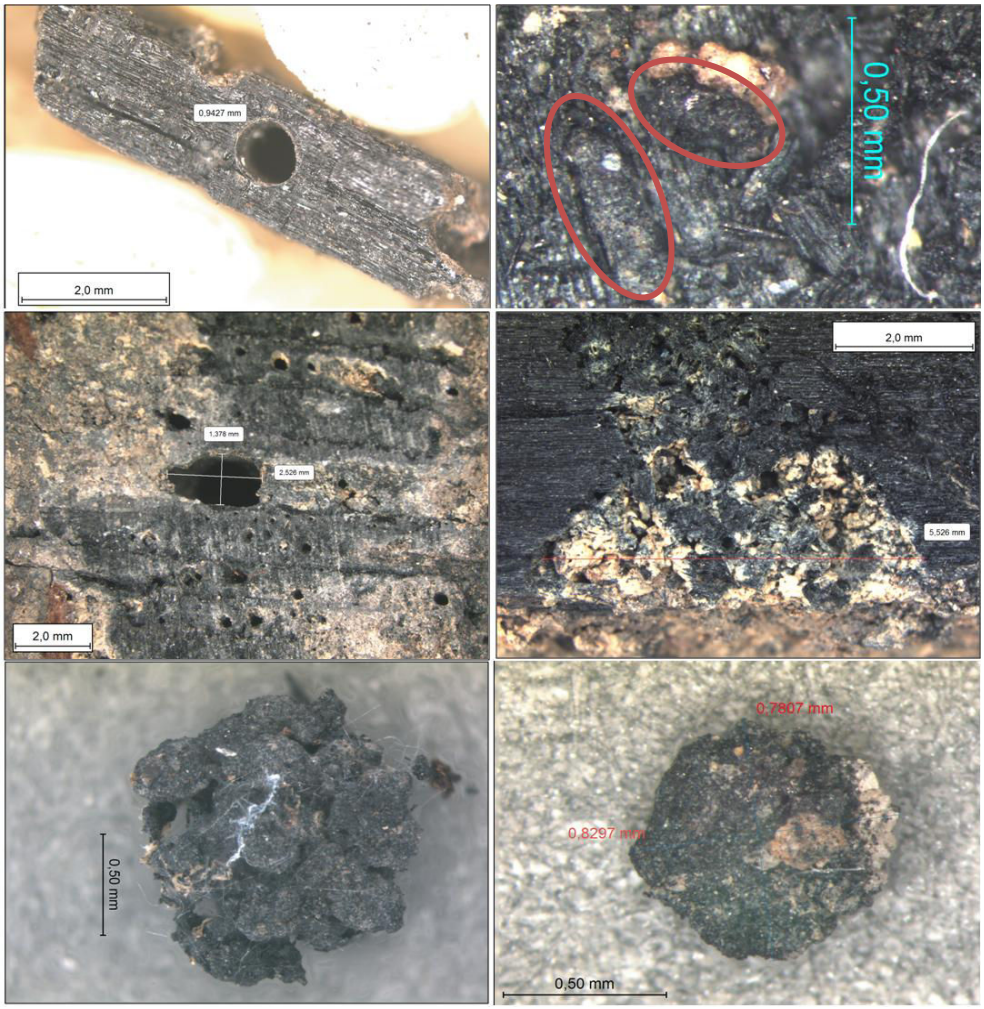


FIGURE 119 - Exemples de galeries et de vermoulures observées sur les éléments de l'US 4090. En haut : *A. punctatum*. Au centre : Cerambycidae. En bas : vermoulures carbonisées de *X. rufovilosum*.

L'analyse par structures individuelles permet d'observer une répartition plutôt inégale de ces galeries (FIGURE 120). Une couleur est attribuée selon le nombre de galeries comptées pour la structure : nulle (aucune galerie), faible (entre 1 et 20 galeries observées), moyenne (entre 21 et 60), élevée (entre 61 et 90) et très élevée (plus de 91 galeries). On remarque une concentration importante de galeries au centre du complexe 4090, et également sur sa partie nord-ouest contre la coupe. Le taux tend à s'amenuiser lorsqu'on s'éloigne du milieu de l'ensemble.

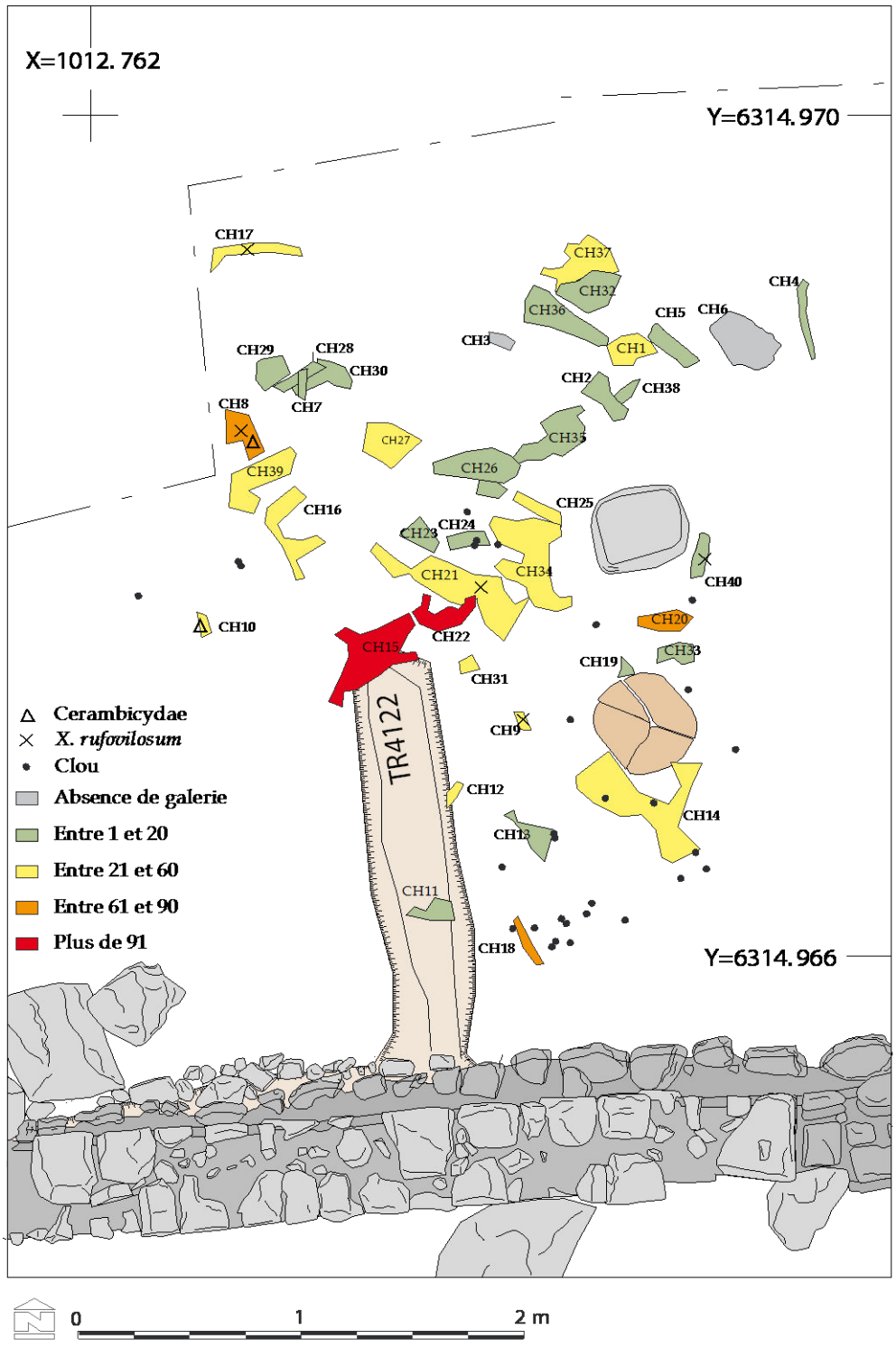


FIGURE 120 - Répartition des galeries sur l'ensemble de la structure 4090.

i. US 4094

- Anthracologie

La structure 4094 est composée presque exclusivement de pin de type sylvestre excluant le pin cembro à 84 %. Seul l'échantillon CH H est en sapin. Un fragment de chêne F. C. a été trouvé sur l'élément CH C (FIGURE 121 ; TABLEAU 130)[469]. La vitrification est basse tandis que la calcification est modérée. Le bois de compression est faible pour la moitié des bois et modéré à élevé pour l'autre moitié : CH C, D, E et F. L'élément 4094 CH I est très déformé par un bois de compression très élevé. Enfin, de nombreux départs de branche (13), ainsi que la moelle du bois, sont à signaler pour la pièce en sapin H.

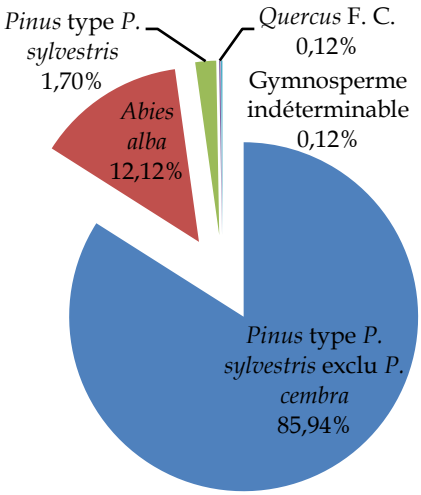


FIGURE 121 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4094.

Élément 4094	*Abies alba*	*Pinus* type *P. sylvestris*	*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*	*Quercus* F. C.	Gymnospermes indéterminables	Totaux
CH A	-	-	100	-	-	**100**
CH B	-	-	100	-	-	**100**
CH C	-	4	104	1	1	**110**
CH D	-	-	100	-	-	**100**
CH E	-	10	90	-	-	**100**
CH F	-	-	100	-	-	**100**
CH G	-	-	15	-	-	**15**
CH H	100	-	-	-	-	**100**
CH I	-	-	100	-	-	**100**
Totaux	**100**	**14**	**709**	**1**	**1**	**825**
Total en %	**12,12**	**1,70**	**85,94**	**0,12**	**0,12**	**100**

TABLEAU 130 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4094.

[469] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n°131 à 139, Annexe 6, page 188-190.

- Entomologie

12 % de la totalité de la structure présente des traces d'hyphes, d'arthropodes et de galeries. Les 17 arthropodes recensés appartiennent à la famille des *Scolopendria* et des *Collembola* vivantes au moment de l'analyse. Les 79 hyphes de champignon, observés sur les parties externes des charbons de bois, restent pour l'heure indéterminés.

Une dizaine de galeries ont été enregistrées. Six d'entre elles ont été déterminées comme *A. punctatum*, les quatre autres sont indéterminées. Les galeries indéterminées sont isolées chacune sur une pièce de bois (A, D, E et I). Les galeries d'*A. punctatum* sont concentrées sur deux pièces : C et F. Les éléments carbonisés en pin B et G, et en sapin H ne présente pas de galerie (FIGURE 122).

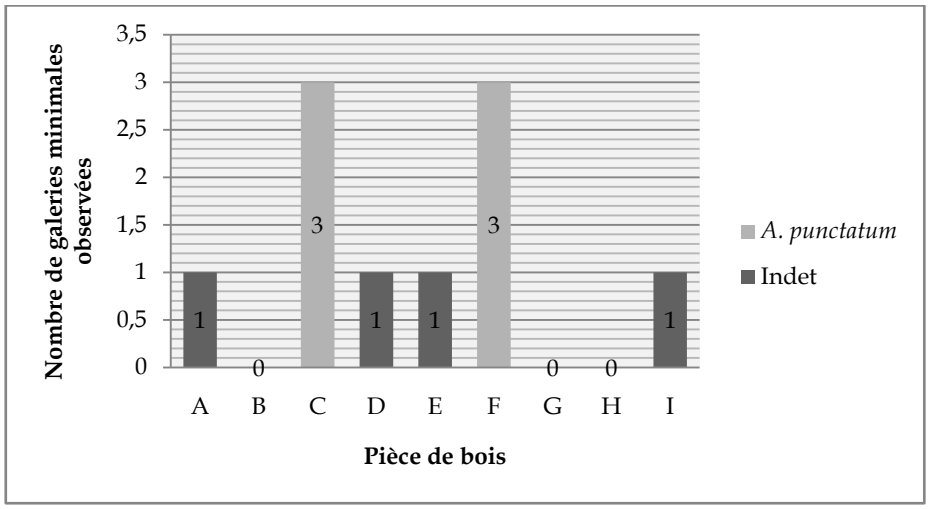


FIGURE 122 - Répartition et effectif des galeries indéterminées ou *A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4094.

j. US 4095

- Anthracologie

Au sein de cette zone, à proximité immédiate du foyer, les quatre prélèvements qui ont été effectués fournissent une grande diversité d'essences sauf pour l'échantillon 4095 B, composé exclusivement de *Pinus* type *sylvestris* excluant *P. cembra*. Ce dernier est attesté à plus de 57 % de l'ensemble. Effectivement, les trois autres prélèvements renferment des essences différentes en plus du pin de type sylvestre, telles que le buis, le chêne F. C. (26,15 %), puis, plus particulièrement pour l'échantillon 4095 A, de l'érable, un fragment de Rosacée/Pomoïdée et un de *cf. Juglans regia*. Enfin, il convient de noter la présence d'un grand nombre de clous (plus de 30) en lien avec cet ensemble.

Pour l'ensemble, le bois de compression est présent à un taux faible pour les gymnospermes. Il est élevé pour le pin de 4095 A. La vitrification est faible et la calcification modérée. Ces deux caractéristiques sont plus importantes (taux modéré à élevé) pour les essences présentes en faible proportion et les indéterminables (FIGURE 123 ; TABLEAU 140)[470].

[470] *Cf.* tableaux détaillés par échantillon : n°141 à 144, Annexe 6, page 190-191.

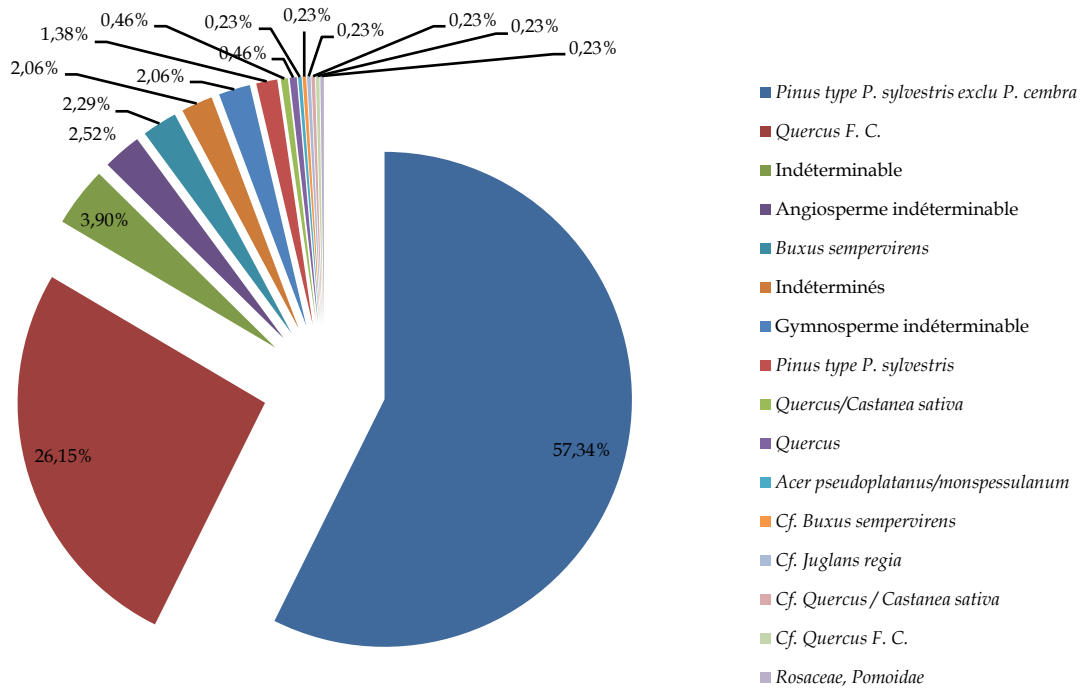


FIGURE 123 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4094.

Élément 4095	*Acer pseudoplatanus/ monspessulanum*	*Buxus sempervirens*	*Cf. Buxus sempervirens*	*Cf. Juglans regia*	*Cf. Quercus* F. C./ *Castanea sativa*	*Cf. Quercus* F. C.	*Pinus* type *P. sylvestris*	*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*	*Quercus* F. C. /*Castanea sativa*	*Quercus* F. C.	*Quercus*	*Rosaceae, Pomoidae*	Indéterminés	Angiospermes indéterminables	Gymnospermes indéterminables	Indéterminables	Totaux
A	1	6	1	1	1	1	6	96	2	15	2	1	8	4	4	11	**160**
B	-	-	-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	1	-	**100**
C	-	3	-	-	-	-	-	52	-	-	-	-	1	-	4	6	**66**
D	-	1	-	-	-	-	-	3	-	99	-	-	-	7	-	-	**110**
Totaux	**1**	**10**	**1**	**1**	**1**	**1**	**6**	**250**	**2**	**114**	**2**	**1**	**9**	**11**	**9**	**17**	**436**
%	**0,23**	**2,29**	**0,23**	**0,23**	**0,23**	**0,23**	**1,38**	**57,34**	**0,46**	**26,15**	**0,46**	**0,23**	**2,06**	**2,52**	**2,06**	**3,90**	**100**

TABLEAU 140 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4095.

- Entomologie

Quasiment 20 % de l'ensemble des charbons de bois présentent des traces d'infestation d'hyphes, d'arthropodes et d'insectes xylophages. Seules les pièces en pin de type sylvestre sont concernées. Six individus de la famille des *Scolopendria* ont été enregistrés. Les 76 hyphes repérés restent indéterminés. Enfin, sur la pièce 4095 B, il a été observé quatre galeries identifiées comme appartenant à *Anobium punctatum*. Les autres essences et pièces prélevées n'ont fourni aucune autre trace d'insecte xylophage.

C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE

À partir des données archéologiques, anthracologiques et entomologiques récoltées, plusieurs interprétations peuvent être proposées sur les fonctions des structures et sur ce que les traces d'insectes et des autres ravageurs indiquent quant à l'utilisation de ces bois de construction[471].

Hypothèses sur les fonctions des structures et leur état sanitaire

- Rejet de foyer et huisserie

L'ensemble 4095, situé au pied du foyer (FY 4089), formait à la fouille une zone charbonneuse quadrangulaire, liée à une trentaine de clous à section carrée et à quelques clous de charpente, suggérant une structure manufacturée de type huisserie. Le pin de type sylvestre, infesté par la petite vrillette (*A. punctatum*) et le chêne à feuillage caduc sont de bons bois de poutraison et de charpenterie : cet état de fait appuie cette première hypothèse de bois ouvrés. La timide présence de la petite vrillette sur le pin conforte aussi l'hypothèse d'un bois ouvragé et sec. En revanche, l'hétérogénéité des essences (buis, érable, probable noyer, Rosacée/Pomoïdée) tend plutôt vers l'idée des résidus d'une vidange du foyer.

Finalement, une question se pose : la structure 4095 est-elle d'une côté un mélange entre une vidange du foyer lors du fonctionnement de l'habitat, et de l'autre, une structure en bois qui aurait brûlé plus tardivement dans l'incendie suivant l'abandon du site ? Cette potentielle huisserie ou mobilier en bois n'aurait-elle pas été volontairement utilisé pour faire fonctionner le foyer avant que celui-ci soit vidangé ? La/les structure(s) en pin et/ou en chêne pourrai(en)t alors être un réemploi (provenant d'une autre pièce, dépendance...) dans le foyer.

- Un linteau sain

L'US 4070 doit être interprétée comme étant un linteau de 1,38 m de long pour 18 cm de large. Cette pièce en chêne a été soigneusement choisie par le constructeur pour les propriétés mécaniques de l'essence, probablement dans le but d'assurer au mieux la fonction de support de la construction. En effet, compte tenu des longs cernes de croissance, de la faible présence de thylle et de l'absence de trace d'insecte xylophage, ce bois est vraisemblablement de bonne qualité et jeune. Il faut également noter que, lors de la fouille, des blocs de pierre se répartissant sur tout le tour de la pièce de bois ont été observés.

L'hypothèse actuelle est qu'il s'agirait d'un linteau non apparent ou plus probablement semi-apparent (d'où la présence des clous de charpente) et protégé par la maçonnerie[472]. Le mortier de chaux entourant la pièce aurait également aidé à sa préservation face aux insectes de bois sec comme la petite vrillette pourtant très présente sur les structures ouvragées proches.

- Des chevilles ou un objet ?

[471] GOLOSETTI *ET AL.* 2011 ; TRINTIGNAC *ET AL.* 2011.
[472] BARBEROT 1911.

L'hypothèse archéologique proposait comme identification pour l'US 4032 une éventuelle marche permettant l'accès entre l'espace 5 et l'espace 4. Or, l'interprétation à la suite de l'analyse est plus délicate, en raison notamment de la présence du buis (4032 CH 1). En effet, si on le considère comme étant un élément de construction, de par la présence de clous, dont un de charpente fiché dans la pièce de bois, quelle pouvait être sa fonction ? La question d'une éventuelle bobine en bois s'est posée. En effet, la présence de pesons est attestée sur le site ainsi que la présence d'une probable bobine en céramique. Sur le site de Javols et sur le site de Lattes notamment, des bobines en buis ont été mis au jour[473]. De plus, la taille du prélèvement, moins de 20 cm pourrait correspondre. L'emplacement du clou de charpente dans la pièce en revanche soulève d'autres pistes interprétatives : une cheville ? Une réparation ? Une équerre pour soutenir une planchette en pin (CH 2) ? Ou serait-ce plutôt un objet en buis ? En regardant l'ensemble de l'espace 4, on se rend compte que l'US 4032 est un épandage charbonneux quadrangulaire aux limites floues, et sans doute mal conservé ou plutôt pas totalement carbonisé. La faible présence du pin de type sylvestre induit une structure plus importante qu'un « simple » objet principalement en buis.

La pièce en buis viendrait alors en soutien (réparation ou type d'équerre) d'un élément plus grand en pin. Enfin, vu le type d'essence ligneuse caractérisé, il n'est pas étonnant de constater l'absence d'insecte xylophage. En effet, le buis est un bois très dur et ainsi naturellement protégé des attaques.

- Restes de charpente ?

Un niveau d'abandon est perceptible sur l'ensemble de l'habitat. C'est dans le cadre de cet abandon du site qu'un léger incendie est intervenu, avant que la toiture s'effondre dans sa totalité. On parle de « léger » incendie en raison de la non-rubéfaction des murs en pierre et de la rare rubéfaction des niveaux d'occupation[474].

Ainsi, les charbons provenant des US 4002, 4021, 4030 et 4048 peuvent être éventuellement interprétés archéologiquement comme étant les restes de la couverture et peut-être d'autres mobiliers de l'espace 4 et 5 tombés lors de l'abandon de l'habitat et brûlés dans un second temps par l'incendie qui a terminé de faire effondrer l'ensemble. C'est dans ce laps de temps, après l'abandon et avant l'incendie, que ces pièces de bois et d'autres qui ont disparues, auraient pu être infestés par des insectes xylophages, un peu comme ce qu'il est possible d'observer dans une maison en ruine. Seul l'emploi unique du chêne vert pour un élément (4002 CH 2) reste problématique pour l'hypothèse de la couverture. Il pourrait s'agir d'un autre objet non identifié ou éventuellement d'une réparation ? Les autres éléments de l'US 4002 concordent bien avec l'idée d'une charpente effondrée, dont seulement une petite partie des bois aurait brûlée. En effet, d'autres éléments en bois, disparus depuis, sont suspectés en raison de la présence de clous de charpente. De plus, la présence d'une tuile présentant une perforation circulaire démontre qu'elle était fixée à l'aide de clous. Egalement, 4002 (CH 3 et 4), 4030 (CH 1, 5, 6, 7 et 8) et 4021 présentent des traces d'infestation par la petite vrillette, confirmant que ces structures sont bien du bois sec et ouvragé. Les éléments infestés de 4030 (60 % de l'ensemble de l'unité stratigraphique) sont exclusivement en pin, le chêne semblant

[473] CHABAL, FEUGÈRE 2005, 161 ; FERDIÈRE *ET AL.* 2009.

[474] Comme c'est le cas dans la plupart des sites étudiés dans ce travail : Camelin, les Jacobins... ont tous des structures partiellement incendiées.

avoir été épargné par les ravageurs. La possibilité qu'il s'agisse de restes de meubles semble compromise compte tenu des données de terrain : ces quatre structures sont mélangées aux débris de *tegulae* qui composaient la toiture.

Au sujet de l'US 4051, cette bûche non équarrie, mais écorcée, et retrouvée sur un bloc de pierre au sein de l'espace 3, a la particularité de posséder un départ de branche de bonne taille (5 cm de diamètre). Cette observation pose la question de savoir si cette pièce de bois fait réellement partie prenante d'un ensemble ouvragé tel que les restes de charpente 4002 au sein du même espace. Enfin, l'absence d'insecte xylophage n'aiguille pas préférentiellement vers une hypothèse ou l'autre. La seule information que cette donnée apporte est que la pièce 4051 est une pièce en pin de type sylvestre saine, contrairement à la grande majorité des autres structures en pin découvertes dans l'habitat.

- La porte 4094

L'ensemble des pièces de bois carbonisées de l'US 4094 formait une trace rectangulaire au sol, liée à du sédiment charbonneux et à des clous, située au niveau de l'entrée de la pièce donnant l'accès à l'espace de vie (espace 5). L'hypothèse actuelle met en avant l'idée d'une porte principalement en pin, qui se serait effondrée vers l'intérieur de l'habitation. Le fragment de chêne est peut-être dû à une pollution résiduelle d'une structure attenante telle que le linteau 4070 par exemple. La bûche en sapin 4094 H présente de nombreux départs de branche comme la pièce en bois de l'US 4051 (espace 3). Cette situation questionne : s'agit-il vraiment d'un élément de la porte ? Il s'agit de la seule pièce en sapin de la structure, et, qui plus est, est une pièce allongée, non équarrie et non attaquée par une espèce xylophage : servait-elle d'armature ou était-ce un système de fermeture (barre) de la porte ?

Enfin, les pièces attenantes en pin 4094 C et 4094 F possèdent chacune quelques galeries d'*A. punctatum* soutenant l'idée d'un état du bois ouvragé faiblement infesté pour l'ensemble de la structure. Ce qui est étonnant, c'est le positionnement de ces pièces attaquées, vraisemblablement la partie centrale de la porte. Alors que d'une manière générale, une colonie de xylophages privilégiera une partie affaiblie de la structure telle qu'une fissure au sommet ou sur le bas d'une porte ou d'un meuble par exemple car plus propice à garder l'humidité. Cet état de fait soulève la question du moment de l'infestation : lorsque la porte était en place et en fonctionnement ou après l'abandon de l'habitat lorsqu'elle tombe au sol avant l'incendie ? A la vue de l'emplacement des galeries, c'est cette seconde hypothèse qui pourrait être avancée, en gardant toutefois l'idée que la totalité des éléments de la porte n'ont certainement pas brûlés excluant ainsi de potentielles informations supplémentaires.

- Une paroi verticale effondrée?

L'ensemble des données acquises pour la structure 4090 conduit à avancer l'idée que cet ensemble de planches et de quelques bûches conservées pourrait être une paroi en bois composé presque exclusivement de pin (CH 8 en sapin, et CH 4, 7 et une partie de 14 en chêne). La grande majorité des structures se présente dans le même sens (fil du bois identique) et certaines sont à plat par rapport au sol. Au sein de la partie centrale et au sud, de nombreux clous dont plusieurs de charpente sont associés aux bois. Les plus visibles concernent la pièce CH 14, les clous faisant le lien direct entre la partie en bois de pin et celle en chêne.

La sablière basse (TR 4122) marque la limite ouest de l'ensemble 4090. C'est probablement au dessus d'elle que s'élevait cette paroi en matériaux périssables. Le niveau de démolition composée de *tegulae* semble moins important à l'ouest, une fois passée cette sablière. Cette paroi marquait-elle une division de l'espace 5 entre un espace couvert et un espace ouvert ?

L'analyse spatiale du nombre de galeries sur les structures carbonisées fait percevoir une concentration plus importante à l'extrémité ouest et centrale de l'ensemble 4090 (CH 15 et 22). La limite ouest de la structure est plus attaquée que l'est. Plus on s'éloigne de la sablière basse TR 4122, de la pièce CH 15 et 22, plus le nombre de galeries diminue. Ces résultats identifient spatialement le point de départ de l'infestation. Les insectes xylophages ont débuté leur colonisation du bois à partir de la base de la paroi.

Un total de 32 % de l'ensemble de la paroi est infesté, et 92 % de cette infestation est causée par la petite vrillette (*A. punctatum*), en particulier sur les pièces de bois en sapin et en pin. De petite taille (environ 3 mm de long) et considérées comme synanthropes[475], l'attestation de cette espèce est logique et naturelle compte tenu des conditions présentes pour son bon développement : du bois ouvragé, sec, pouvant être soumis à l'humidité (intempéries par exemple) le rendant plus souple pour ses mandibules. La paroi aurait pu ainsi être exposée aux intempéries sur sa face ouest si au-delà de la tranchée 4022 il s'agit bien d'un espace non couvert. L'altitude ne semble guère déranger cette espèce[476]. Enfin, si on considère le surnombre et l'entrecroisement des galeries observées, plus particulièrement sur les pièces ouest, il est possible de déduire l'attaque de plusieurs générations de petites vrillettes[477] : au minimum deux générations. Deux générations correspondant à une infestation qui dure depuis au moins un an voire quatre ans (si les conditions environnementales n'étaient pas au rendez-vous) au moment où intervient l'incendie de la structure. Ce laps de temps ne signifie pas forcément qu'il s'agit de la phase d'abandon du site avant l'incendie. En comparaison avec la porte 4094 où il n'y a pas ce type d'observation, cela confirme que la porte est probablement infestée depuis moins longtemps que la paroi. Serait-il possible que l'effondrement partiel de la paroi avant l'incendie aurait permis aux xylophages de commencer à accéder à la porte elle-aussi effondrée juste à côté ? L'insecte a très bien pu infester les bois ouvragés de l'habitat au moment de l'utilisation de ce dernier, ses occupants n'ayant peut-être pas remarqué leur présence.

La présence de la grande vrillette (*X. rufovilosum*) sur le sapin et le pin ajoute une donnée importante à l'étude. En effet, cette espèce privilégie les bois plus humides et préalablement infestés par un champignon de type pourriture cubique[478, 479] ou fibreux. Selon GAHAN, elle privilégie les bois exposés aux intempéries[480]. Les dégâts causés peuvent être dangereux pour l'intégrité des propriétés mécaniques de la structure : en quelques générations les pièces de bois sont détruites. Dans le cas du col d'Adon, on aurait alors affaire à un début de

[475] Signifiant qui privilégie d'être proche de l'homme pour avoir de meilleures conditions de vie.
[476] Elle a été observée dans les Alpes Suisse à plus de 2000 m d'altitude lors du stage SCHWEINGRUBER 2015.
[477] *Cf.* Chapitre II, page 99.
[478] Or celui-ci n'a pas pu être mis en évidence comme il le sera pour les bois de Rezé et de Camelin notamment, c*f. infra.*
[479] Les charbons de résineux du col d'Adon avaient tendance à se déliter par cerne de croissance. En parallèle, de nombreuses racines actuelles étaient venues perturber les structures archéologiques rendant les prélèvements plus humides et des charbons très fissurés.
[480] LEPESME 1944, 91.

colonisation. Une première génération au sein de la structure présente et rongeant le bois depuis au minimum pendant deux ans au moment de l'incendie (durée de son cycle évolutif dans des conditions optimales). Si la partie ouest de l'espace 5 est effectivement non couverte, l'humidité accumulé sur un côté de la paroi a tout à fait pu aider à l'apparition de champignons et de cette espèce. Toutefois, d'après les données obtenues, il est difficile d'être certains de la contemporanéité des infestations d'*Anobium* et de *Xestobium*, d'autant plus qu'elles n'ont pas le même impact (à la vue du nombre de galeries observées, il n'y a pas la même proportion d'infestation). Ainsi, si la paroi a bel et bien commencé à s'effondrer après l'abandon de l'habitat, les bois, soumis aux intempéries et plus vraiment protégés par la toiture, auraient alors attiré cette espèce qui se serait installée avant l'incendie.

L'attestation de la famille des capricornes fortifie l'idée d'une structure ouvragée soumise régulièrement à une humidité importante (aux alentours de 30 %), appuyant ainsi l'hypothèse d'une cloison espace ouvert/couvert.

- Un début d'infestation ? Une sélection ?

Un peu moins d'un tiers des bois du col d'Adon présente des traces d'infestation d'insectes xylophages.

Généralement, la petite vrillette attaque le bois sans faire de distinction entre un résineux et un feuillu. Or dans le cas des bois du col d'Adon, les pièces en chêne (4090 CH 4, 7 et 14 ; 4070 ; 4095 D ; 4030 CH 5) semblent épargnées par cette espèce. Le pin et le sapin sont des bois plus tendres que le chêne et sont peut-être plus attractifs nutritivement pour la vrillette. De plus, le chêne fabrique du tanin qui est un bon répulsif naturel pour les insectes. Si l'infestation avait été généralisée et plus importante, il y aurait eu de la petite vrillette partout.

La présence de la grande vrillette est normale pour du bois d'œuvre puisqu'elle ne se développe jamais dans les arbres sur pied. Ainsi, la colonisation des échantillons par ce ravageur a-t-elle eu lieu après l'abattage et sur du bois probablement « non traité » et non écorcé.

Le capricorne présent ici attaque exclusivement les résineux. Les pièces étant écorcées, il ne s'agit pas d'une espèce se nourrissant du cambium d'un bois stocké. De plus, comme pour la grosse vrillette, les dégâts causés peuvent être très importants dès les premières générations.

Il convient également de souligner l'importance des galeries indéterminées, qui concernent près de 10 % des attaques du bois. Leur identification aiderait à mieux comprendre l'ensemble des infestations de l'habitat.

L'origine et le choix des bois de construction

En résumé, les structures en bois carbonisé du site forment plusieurs ensembles : une paroi, une porte, des restes de charpente et/ou de mobilier, une vidange de foyer liée ou non à une potentielle huisserie et une structure en pin et en buis (FIGURE 124).

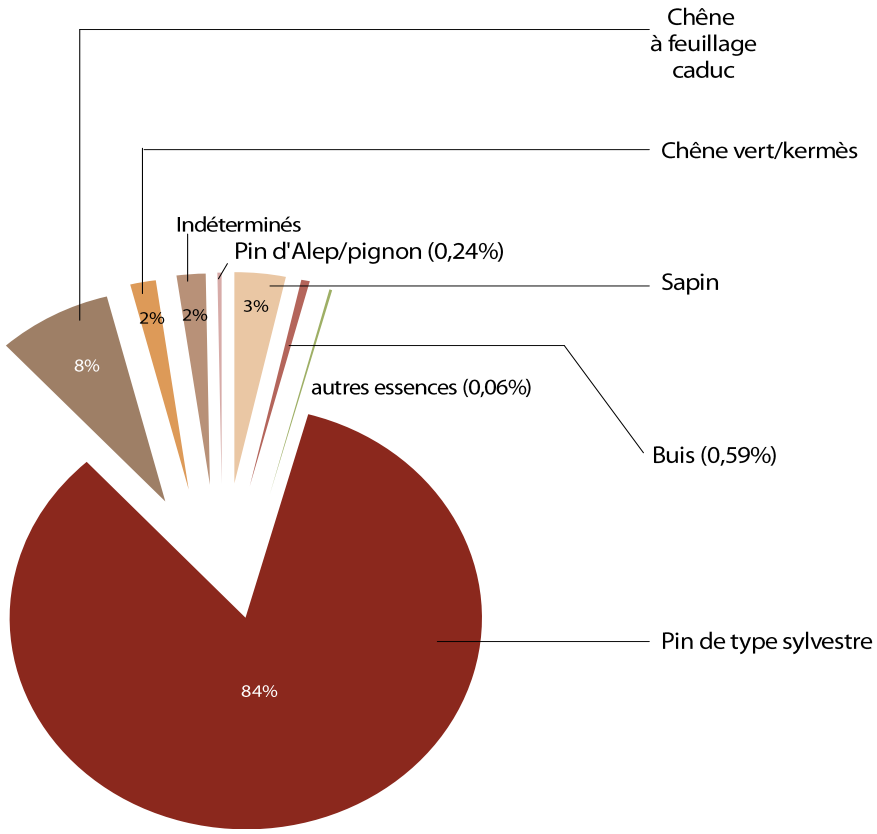


FIGURE 124 - Proportions des essences ligneuses utilisées dans la construction.

- L'environnement proche du site

En parallèle de cette approche architecturale, une analyse par carroyage du niveau d'occupation 4030 de l'espace 5 a été menée[481]. Les petits charbons, résultant d'une succession de vidanges du foyer sont représentatifs du paysage végétal et ouvrent des perspectives d'interprétation en particulier pour appréhender l'origine des bois utilisés dans l'habitat du col d'Adon (FIGURE 125).

Au vu de l'ensemble de la diagnose anthracologique, le col d'Adon est entouré à l'époque romaine d'une chênaie mixte composée de chêne à feuillage caduc et de chêne vert. Les compagnes mésophiles de la chênaie caducifoliée, le frêne, éventuellement les salicacées en milieu humide ainsi que les essences frutescentes témoignant de son ouverture, le buis et le noisetier, ont été caractérisés, alors qu'aucune des essences compagnes du chêne vert n'a été formellement déterminée. Cet état de fait place la flore du col d'Adon dans l'étage supraméditerranéen de végétation et non pas dans l'étage mésoméditerranéen supérieur. Cette conclusion est fortifiée par la présence du hêtre, de l'if et du pin de type sylvestre, toutes caractéristiques de l'étage montagnard de végétation et qui apportent une note plus mésophile que xérophile à la flore mise au jour. La présence de la chênaie sempervirente s'explique par les remontées exceptionnelles de végétation méditerranéenne dans ce secteur. En effet, la chaîne alpine prend ici (Alpes maritimes et ligures) une direction nettement est-ouest et constitue du côté sud une sorte d'immense espalier sur lequel les végétations

[481] GOLOSETTI *ET AL.* 2011 ; monographie à paraître.

méditerranéenne et supraméditerranéenne, protégés du nord, peuvent s'élever à des hauteurs exceptionnelles (600 m et 1.200 m respectivement)[482] : c'est le cas de l'olivier. À l'inverse, le pin de type sylvestre s'infiltre dans l'étage supraméditerranéen supérieur où il peut former un paraclimax se substituant à la chênaie caducifoliée, notamment après défrichement. Se développant à la limite supérieure de la série à chêne pubescente, en exposition sud vers 800-1000 m d'altitude, un faciès de transition vers la hêtraie sèche se dégrade en lande à buis et à amélanchier ; la formation de ce type observée au-dessus de Grasse est tout à fait caractéristique[483] et les rosacées pomoïdes caractérisées pourraient bien être de l'amélanchier. Il est intéressant de constater que la flore du col d'Adon se trouve à la croisée de plusieurs influences : méditerranéenne (chêne vert et olivier), mésophile à coloration supraméditerrannéenne (chêne caducifolié, buis, noisetier, frêne) et montagnarde (hêtre, if, pin de type sylvestre).

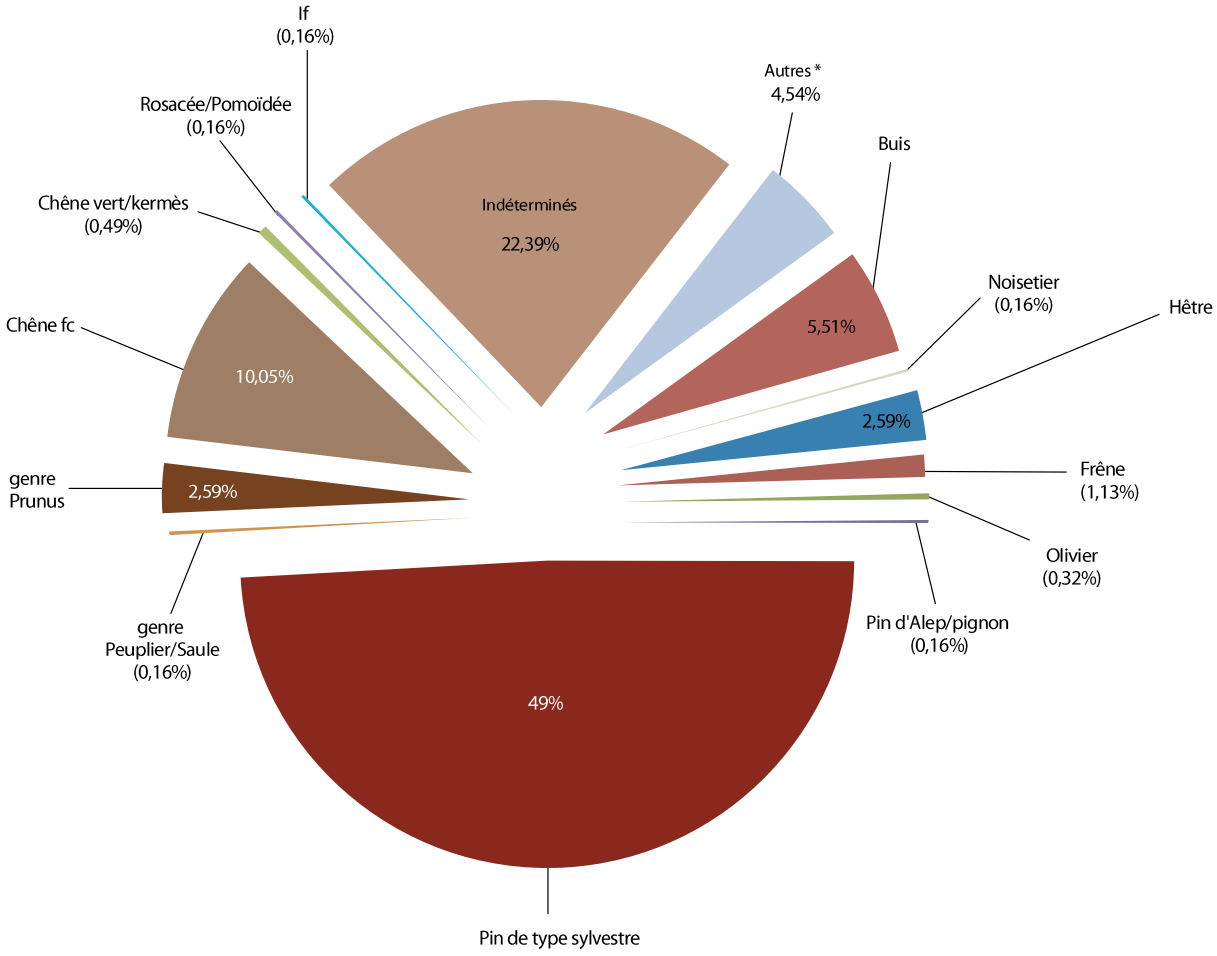


FIGURE 125 - Proportions des essences ligneuses analysées dans le carroyage du niveau de circulation.

En regard de cette restitution paléoécologique, l'utilisation du pin de type sylvestre et du chêne F. C. est logique puisqu'il s'agit de bois locaux et proches du site.

[482] OZENDA 1981, 105, 146.
[483] OZENDA 1981, 178.

Toutefois, concernant le sapin, ce dernier est présent dans les structures mais n'apparaît pas dans les analyses du carroyage. Et pour cause, il s'agit d'une essence qui pousse généralement à plus haute altitude ou sur un versant à l'ubac (le sapin apprécie l'ombre). L'hypothèse que les populations sont allées chercher ce bois plus haut est donc tout à fait possible. Sur le versant d'en face ? Ailleurs ?

- La taille des arbres choisis

Les bois utilisés dans la construction proviennent de l'environnement plus ou moins proche de l'habitat. Les mesures effectuées sur le terrain de chaque pièce de bois ayant des contours nets (4094 et 4090 principalement) fournissent des informations sur la taille originelle des arbres. En moyenne, la largeur des pièces est de 14 cm. En observant bien la largeur comme s'il s'agissait du diamètre de l'arbre, les bois utilisés dans la construction sont à l'origine des bois de taille moyenne d'environ 20 cm de diamètre. Les éléments les plus larges sont 4090 CH 16, 26 et 34 et 4094 A et D, avec une largeur variant entre 26 et 28 cm, soit des arbres de plus de 30 cm de diamètre utilisés en majorité pour fabriquer des planches.

Pour les résineux, dans 11,5 % des cas, la proportion du bois de compression est faible et dans environ 14 % des structures, ce taux est moyen. Il y a tout de même 6 % des bois du site qui possèdent une forte compression, ce qui indiquerait une utilisation soit de bois de branche et/ou soit de bois ayant grandi en pente, donc abattu sur le versant où est implanté le site archéologique probablement plus en altitude[484].

L'humidité des prélèvements : une infestation actuelle

De nombreux arthropodes et hyphes de champignon, non carbonisés et ainsi probablement actuels ont été observés quelque soit la structure carbonisée. Les prélèvements anthracologiques auraient été infestés en raison de l'humidité et de la chaleur notamment, à des taux suffisants pour permettre à cette microfaune de se développer dans le sédiment archéologique. Mais le fait que certaines familles, comme le *Scolopendria*, résident dans le charbon reste un phénomène curieux et rarement observé, car ce n'est pas leur milieu de vie naturel. Leur présence peut s'expliquer par le fait que les larves de cette espèce évoluent au sein des racines des arbres. Ces dernières, actuelles, sont nombreuses sur le site et progressent à travers les vestiges ainsi que dans les charbons de bois archéologiques. L'individu y aurait alors trouvé là un milieu favorable pour sa croissance. La présence de tardigrades n'est, pour le cas du col d'Adon, pas étonnant puisque cette famille privilégie les zones moussues de l'environnement : mousse et lichen des murs de terrasse ; forêts... Les collemboles, dont certaines étaient vivantes au moment de l'analyse, indiquent un échantillon humide où de la moisissure, dont elle se nourrit, se développe.

La forte présence des hyphes a été systématiquement notée au cours de l'analyse anthracologique lors de leur observation, mais ils n'ont pas été systématiquement recherchés à la différence des traces laissés par les insectes.

Au final, ces observations interrogent sur les méthodologies de stockage des sédiments archéologiques, mais ne sont pas prises en compte dans la compréhension de l'état du bois avant sa carbonisation.

[484] Il est plus facile de descendre une grume d'une pente que le contraire, *cf.* Chapitre I, page 42.

IV. UNE ÉTUDE SUR DES BOIS GORGÉS D'EAU : L'AMÉNAGEMENT DES BERGES À *RATIATUM*, REZÉ SAINT-LUPIEN

A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES

Dans le cadre d'un vaste programme de recherche engagé au sein de l'agglomération romaine de *Ratiatum* (Rezé, 44) entre 2005 et 2016, une partie du port antique localisé au nord des thermes et des entrepôts du quartier Saint-Lupien a été mise au jour et étudiée à travers l'apport de plusieurs disciplines archéo-environnementales : géomorphologie, dendrochronologie, tracéologie, xylologie, archéozoologie et entomologie (FIGURE 126)[485].

Les secteurs pris en compte dans ce travail, ont été choisis en fonction de la découverte ou non de bois gorgés d'eau : ce sont les secteurs 14, 15 et la « vasière » correspondant au secteur 16 (FIGURE 127 a). Le secteur 18, qui se situe à l'est du prieuré et de la chapelle de l'époque moderne et du secteur 17, est également concerné par quelques tests dendrochronologiques effectués en 2013 (FIGURE 127 b). Quant au secteur 14 haut, il est également concerné par ce travail, en particulier par les bois carbonisés issus d'un four à chaux[486].

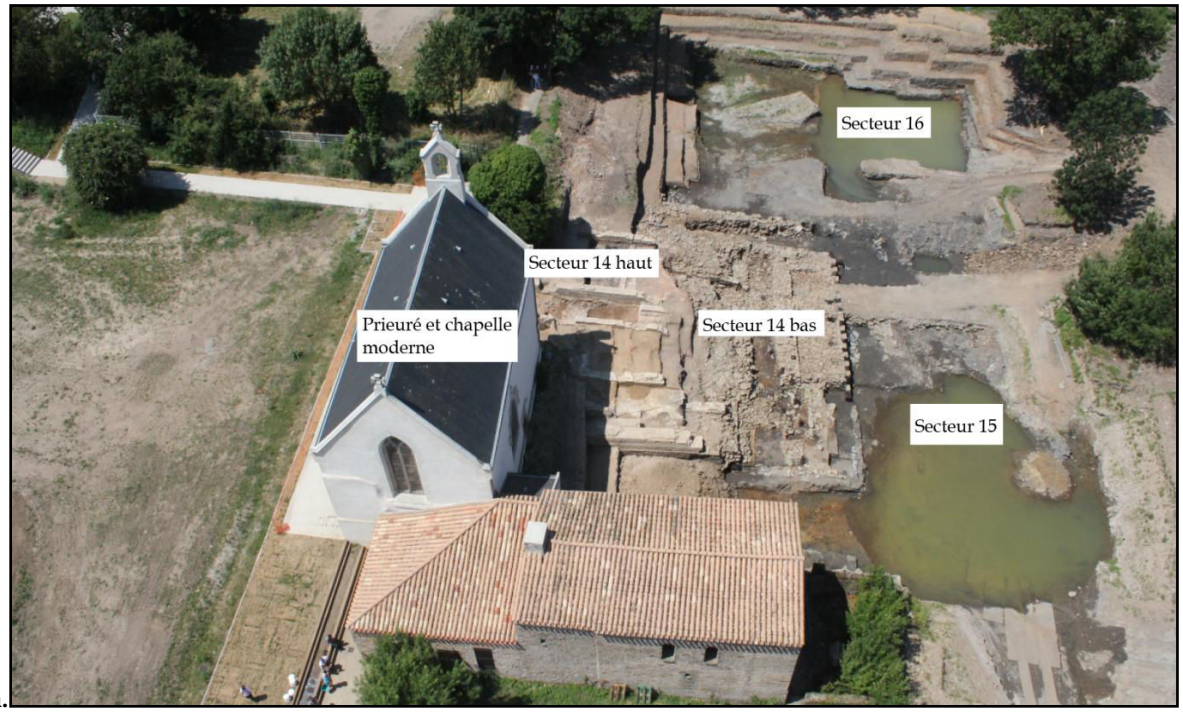
Les bois gorgés d'eau de Saint-Lupien constituent un corpus de bois d'œuvre très important. Ils concernent différents aménagements des berges antiques telles que la construction monumentale des quais, notés CAI, faits de pierre et de bois, datée de la fin du Ier s. apr. J.-C. (FIGURE 128 a et b), ainsi que d'autres phases antérieures de construction du port, plus ou moins discrètes, comprenant essentiellement des pieux et des piquets répartis sur les secteurs 14/15 et 16 (FIGURE 129)[487], datées entre la fin du Ier s. av. et de la première moitié du Ier s. apr. J.-C. Comme nous l'avons indiqué au préalable (Chapitre III), cette étude repose sur l'analyse de 583 pieux à mettre en lien avec les premiers travaux d'aménagement de berge identifiés dans ce quartier portuaire romain et dont le catalogue et l'inventaire associé se trouvent en ANNEXE 7 (volume II) de ce travail[488].

La seconde partie du corpus s'intéresse à l'une des nombreuses terrasses en bois et pierre datées de la fin du Ier siècle de notre ère et du début du IIe siècle, et plus précisément à la structure monumentale de 21 m de long (CAI 9) ayant été soumis à l'examen archéologique entre 2013 et 2016. Observé directement sur le terrain[489], le caisson 9, ou quai (CAI 9) et son extension ultérieure (CAI 17) sont construits avec une armature en bois et comblés par des hourdis en pierre. En effet, à l'ouest et au nord-ouest du caisson est conservé un groupe de structures remarquables qui constituent les bases d'un ensemble architectural aux caractéristiques tout aussi imposantes que celle du module principal CAI 9. Ce nouveau caisson CAI 17 est implanté par le creusement de 21 fosses destinées au calage d'un poteau chacune, sans sablière basse (FIGURE 130). Les autres caissons ont été fouillés avant 2015,

485 GUITTON *ET AL.* 2014 ; 2015 ; 2016 et en cours ; *Cf.* Chapitre III, page 147.
486 *Cf.* Chapitre V, page 430.
487 Les pieux analysés du secteur 18 n'ont pas été topographiés, mais se situent à l'est de l'ensemble du secteur 15.
488 Fonctionnant à part des autres illustrations de ce travail, le catalogue du site de Saint-Lupien est composé de planches d'illustrations qui ne suivent pas les numéros implantés pour la thèse. Les mentions de pieux dans le texte sont accompagnées des numéros d'inventaire correspondant : (**xx**).
489 Bois de gros gabarit, *Cf.* Chapitre II, page 81.

avant notre intégration à l'équipe de fouille. L'étude de ces derniers après la fouille, donne lieu à des données biaisées compte tenu de la nature des échantillons ; des tronçons pour la dendrochronologie et la photogrammétrie[490] ont été conservés[491].

a.



b.

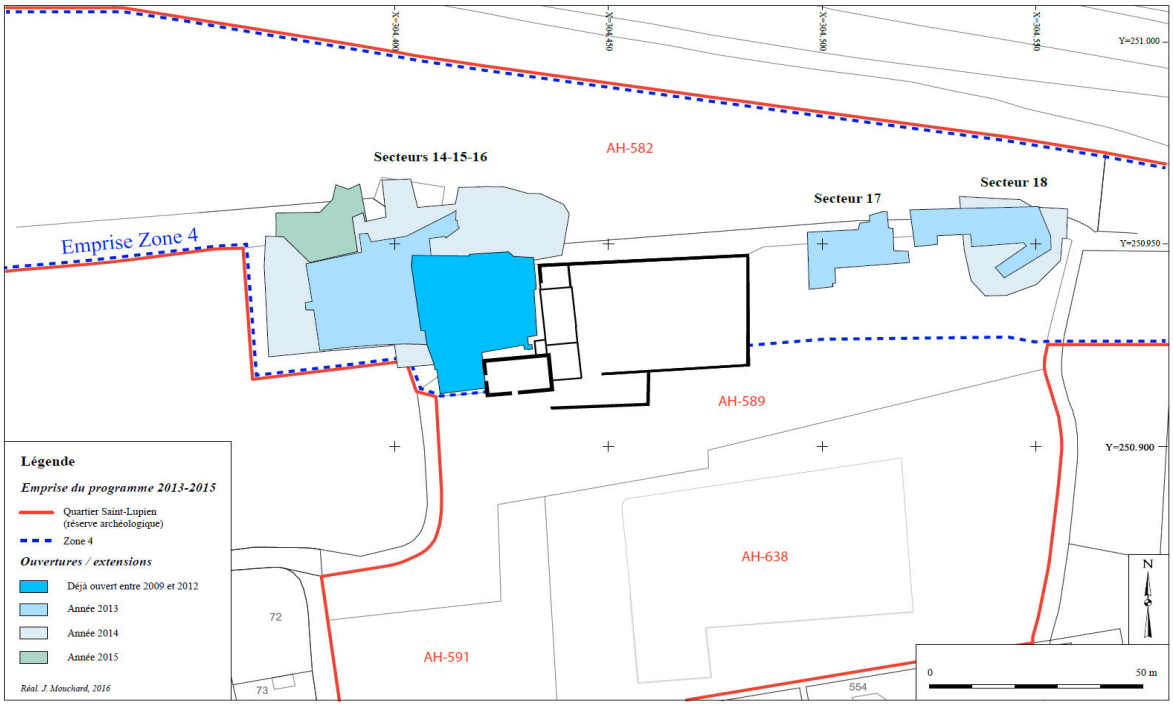


FIGURE 127 - a. Vue aérienne de la fouille de 2015 et localisation des secteurs, cl. KAP ARCHÉO ; tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, 30. **b.** Plan des secteurs de fouille réalisés depuis 2013 : secteurs 14 à 18, réal. J. MOUCHARD, 2016, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015.

[490] La photogrammétrie permet de repérer certaines galeries mais pas de mesurer les vermoulures et donc de les identifier.

[491] *Cf.* Chapitre II, page 92.

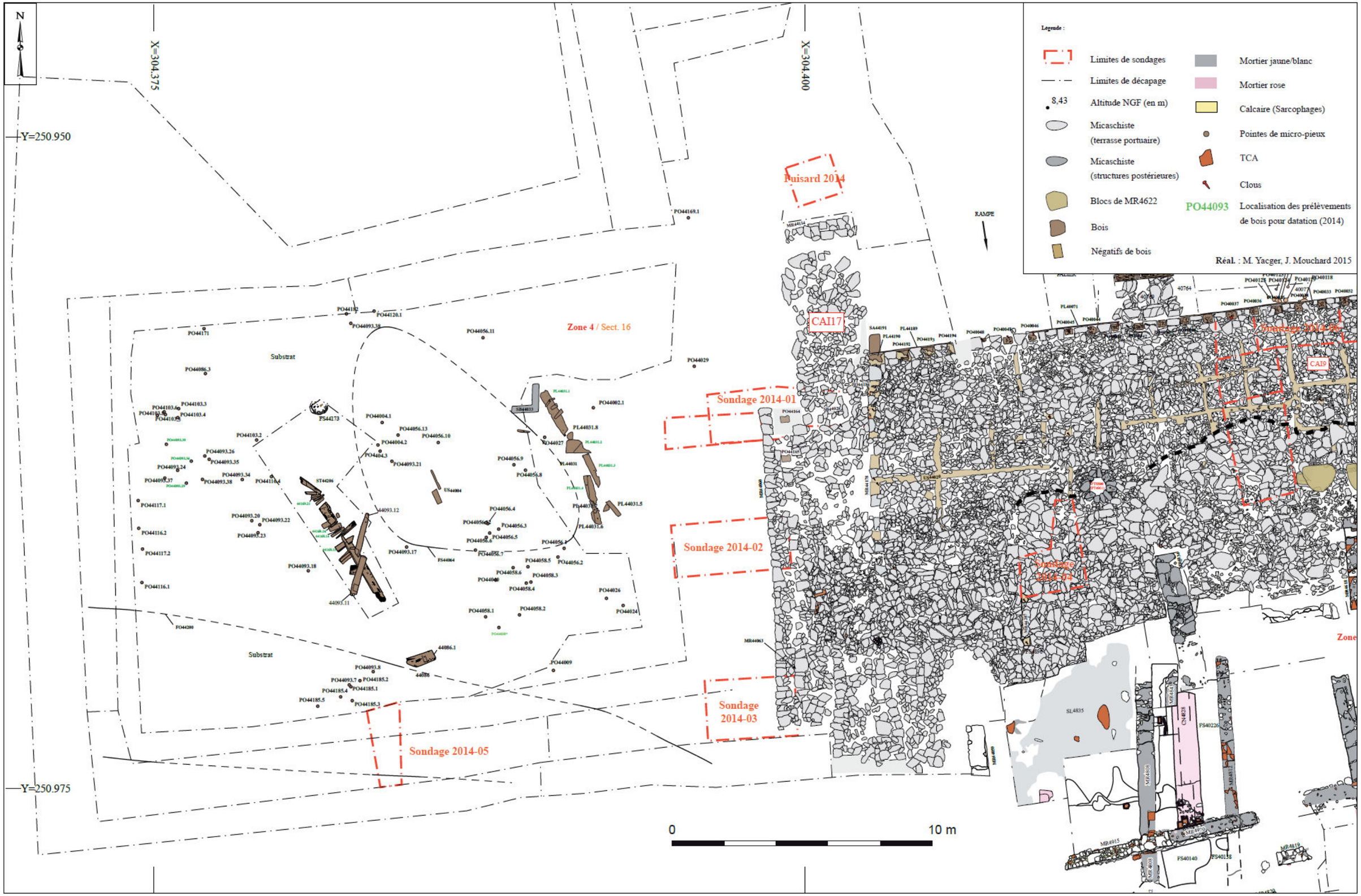


FIGURE 126 - Plan général des fouilles concernées par l'étude, tiré de GUITTON *ET AL.* 2014, 89.

a.

b.

FIGURE 128 - a. Vue d'un caisson en bois et en pierre en cours de dégagement (CAI 9), tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, vol. 1, 46. **b.** Plan du caisson CAI 9, secteur 14, réal. J. MOUCHARD et M. YACGER, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, vol. 1, 7.

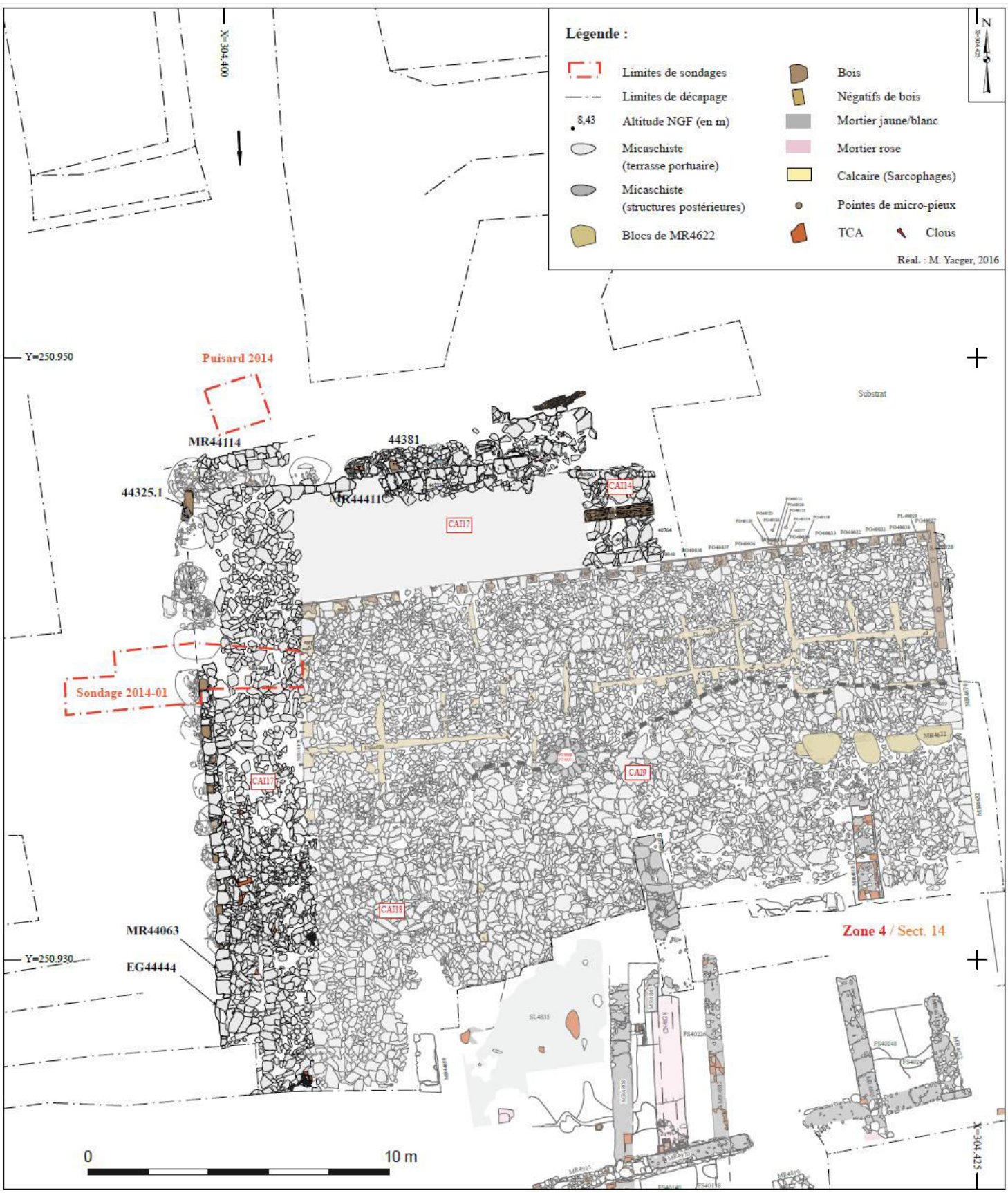


FIGURE 130 - Plan du CAI 9 et de son extension occidentale CAI 17, réal M. YACGER, 2016, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015.

FIGURE 129 - Plan de répartition des pieux pour l'ensemble des secteurs 14, 15 et 16, avec superposition des caissons postérieurs (en grisé). D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES

1. Analyse xylologique et dendrochronologique

a. Les pieux

Sont ainsi comptabilisés : 201 échantillons pour le secteur 14/15 (est du CAI 9) et le secteur 14/16[492] (prélevés lors des campagnes de 2013 à 2015) ; 254 pieux et piquets au sein du secteur 14, sous le quai n°9 (prélevés lors de la campagne 2016) ; 121 échantillons dans le secteur 16 (prélevés lors des trois campagnes de 2013 à 2015) ; Et sept échantillons tests, notés US 43 000, ont été prélevés sur des bois issus du secteur 18 (découverts principalement en 2013) (TABLEAU 145).

Secteur	US	Nombre de pieux
14/15	40540	1
14/15	40542	1
14/15	40543	1
14/15	40679	1
14/15	40680	59
14/15	40681	1
14/15	40686	1
14/15	40687	3
14/15	40688	1
14/15	40694	1
14/15	40696	1
14/15	40698	2
14/15	40699	1
14/15	40708	2
14/15	40709	2
14/15	40710	1
14/15	40775	33
14/15	40791	1
14/15	40814	4
14/15	40861	1
14/15	40901	27
14/15	40906	8
14/15	40907	34
14/15	44069	1
14/15	44276	1
14/15	44286	1
14/15	44325	3
14/15	44340	4
14/15	44356	1
14/15	44363	2
14/15	44409	1
TOTAL		201

Secteur	US	Nombre de pieux
18	43062	1
18	43098	1
18	43107	1
18	43112	1
18	43113	1
18	43118	1
18	43353	1
TOTAL		7

Secteur	US	Nombre de pieux
14	44371	1
14	44394	1
14	44403	1
14	44413	1
14	44414	1
14	44487	1
14	44489	31
14	44498	2
14	44544	59
14	44546	57
14	44578	98
14	44610	1
TOTAL		254

Secteur	US	Nombre de pieux
16	44009	1
16	44027	1
16	44029	1
16	44040	1
16	44056	13
16	44086	1
16	44087	2
16	44093	27
16	44103	9
16	44116	3
16	44120	1
16	44171	1
16	44175	1
16	44181	2
16	44182	1
16	44185	1
16	44231	8
14/16	44253	3
14/16	44301	3
14/16	44321	35
16	44348	3
16	44350	2
15/16	44448	1
TOTAL		121

TABLEAU 145 - Liste des US comprenant les pieux analysés, par secteur de fouille.

[492] 14/15 et 14/16 correspondent aux interfaces entre les secteurs.

Chaque pieu a été observé conjointement avec Lydiane GANTIER[493], soit au sein du laboratoire de Dendrotech, soit directement sur le terrain pour les échantillons de la campagne de 2016, où une station d'étude avec un microscope avait été mise en place. La problématique d'étude pluridisciplinaire a conduit à une organisation précise. L. GANTIER avait besoin d'identifier les essences ligneuses, et de préparer des échantillons de mesures (ou rondelles) dendrochronologiques. L'observation des traces d'outils, des traces d'insectes et les mesures étaient prises au même moment de l'analyse, *in situ*. Après ces étapes, l'équipe de Dendrotech mesurait dendrochronologiquement les pièces les plus aptes à la datation.

- *Les essences*

Les taxons identifiés sont variés. La majorité des pieux, quelque soit le secteur, un peu plus de 60 %, correspond à du chêne à feuillage caduc. L'aulne est en deuxième position avec 16,30 %, puis le hêtre à 12,52 %. Les autres essences, essentiellement des feuillus : bouleau, chêne vert[494], cornouiller, érable, frêne, Maloidée, noisetier, orme, famille du prunellier, saule..., concernent quelques pieux seulement, de proportion inférieure à 5 % de l'ensemble. Un pieu sapin et un autre en épicéa ont été déterminés, et trois pieux sont également des résineux mais restent indéterminés en raison de la faible visibilité sur les ponctuations discriminantes (TABLEAU 146). L'ensemble des essences sont représentées sur le plan ci-après (FIGURE 131). Y sont notés seulement les pieux ayant bénéficiés d'un point topographique afin d'être précisément situés.

Essence	Nb d'élément en bois	%
Aulne	95	16,30
Bouleau	2	0,34
Chêne F. C.	353	60,55
Chêne vert	2	0,34
Cornouiller	1	0,17
Épicéa	1	0,17
Érable	1	0,17
Frêne	20	3,43
Hêtre	73	12,52
Maloideae	3	0,51
Noisetier	3	0,51
Orme	8	1,37
Prunus sp.	4	0,69
Sapin	1	0,17
Saule	2	0,34
Ajonc/Genêt *(Ulex/Cytisus)*	1	0,17
Diverses (aulne, saule…)	3	0,51
Gymnosperme	3	0,51
Indéterminée	7	1,20
TOTAL	**583**	**100**

TABLEAU 146 - Taxon identifiés par L. GANTIER pour l'ensemble des pieux du site de Rezé.

[493] GANTIER 2016.

[494] Essence qui peut remonter à de si hautes latitudes du côté de Nantes, déjà attestée par la palynologie, informations orales Aurélie Reinbolt.

Les pieux ont été observés en fonction des essences caractérisées, seuls les éléments en chêne, hêtre et aulne ont été représentés sur les plans ci-après, les autres essences étant plus anecdotiques. Ainsi, il convient de remarquer que les pieux en chêne, les plus nombreux, forment parfois des alignements distincts, notamment à l'est du secteur 15 où un angle se dessine (FIGURE 132). Deux groupes de pieux en aulne sont attestés l'un à l'ouest du secteur 16 et un autre sur la partie nord du secteur 15. Quelques éléments sont isolés et répartis sur l'ensemble de l'emprise de la fouille. Les aulnes présents dans le secteur 15 sont les plus nombreux et appartiennent à différentes US (40775, 40906 et 40907 principalement) mais ne semblent pas particulièrement former d'alignements. Certains, à la fouille, se chevauchaient (FIGURE 133). Les pieux en hêtre ne sont que trois dans le secteur 16 et sont isolés, tandis que pour les secteurs 14 bas (US 44489 et 44578) et 15 (US 40680 et 40775) ils sont plus nombreux et groupés. Quelques alignements potentiels de ces pieux ont pu être révélés (FIGURE 134).

- Les datations

Au moment de clore ce travail, signalons que les analyses dendrochronologiques sont toujours en cours, et sont réalisées par l'entreprise DENDROTECH. Leur objectif est de dater le moment ou le bois utilisé dans les aménagements des berges a été abattu (et non pas mis en place). Les premières données indiquent que peu de pieux ont finalement pu être datés précisément : 45 sur les 583[495]. Dans l'ensemble, les bois ont été coupés lors de divers épisodes d'abattage entre 30 av. J.-C. et au plus tard jusqu'à 186 apr. J.-C. Il faut noter qu'il y a parfois une grande divergence de dates au sein de pieux provenant d'une même unité stratigraphique par exemple : US 40680.14 abattu entre 25 et 35 apr. J.-C. et 40680.10 et .15 abattus respectivement entre 81 et 84 apr. et entre 87 et 91 apr. J.-C.). Cet état de fait conduit à réfléchir en termes de phases d'abattages et non par US[496].

En complément de DENDROTECH, l'objectif de L. GANTIER[497], au cours de son master, était de dater l'abattage de certains pieux, dont les cernes ne donnaient *a priori* pas une fiabilité optimale pour obtenir une datation précise et ainsi effectuer une datation relative pour mettre en lumière diverses phases d'aménagement des berges. Ses résultats concordent avec les premiers résultats de DENDROTECH :

- Un premier ensemble de pieux[498] révèle une phase d'abattages successifs entre les années 5 et 20 apr. J.-C. ;
- Une seconde phase entre 25 et 35 apr. J.-C., est composée de cinq pieux[499] ;
- La troisième phase[500] correspond au milieu du Ier s. apr. J.-C. (années 40-50), durant laquelle les pieux 40775.37[501] et 40093.36[502] ont précisément été abattus à l'an 47 apr. J.-C. ;
- Enfin, le quatrième ensemble[503] peut être placé lors d'une phase d'abattage située entre 55 et 80 apr. J.-C.

[495] *Cf.* Inventaire des pieux, Volume II, Annexe 7, pages 247. Les pieux datés sont surlignés en gris.
[496] Rapport d'opération à paraître.
[497] GANTIER 2016.
[498] Numéros : 40680.26 (**28**) ; 40680.65 (**61**) ; 40699 (**74**) ; 40775.35 (**105**) ; 40901.11 (**133**) ; 44069.1 (**221**)
[499] Numéros : 40680.14 (**17**) ; 40680.38 (**37**) ; 40680.49 (**47**) ; 40901.18 (**140**) ; 40906.6 (**151**)
[500] Numéros : 40680.49 (**47**) ; 40694 (**70**) ; 44775.37 (**107**) ; 40901.7 (**127**) ; 44093.36 (**245**)
[501] *Cf.* Volume II, Annexe 7, planche 14, page 265.
[502] *Cf.* Volume II, Annexe 7, planche 34, 285.
[503] Numéros : 40680.33 (**33**) ; 40791 (**113**) ; 44087.1bis (**224**) ; 44253 (**268**)

- Calibres et débitages

Lors des observations des pieux, le diamètre ou le rayon (selon le type de débitage) de chaque élément en bois a été enregistré dans le but d'obtenir une estimation des calibres moyens utilisés dans les différents aménagements (FIGURE 135). La majorité des bois, soit 47 %, ont un diamètre variable entre 5 et 10 cm. Environ 22 % de l'ensemble des pieux font moins de 5 cm de diamètre et 25 % sont entre 10 et 15 cm. Seulement un peu plus de 5 % des bois font plus de 15 cm. Les bois ayant les diamètres les plus importants sont des pieux en chêne.

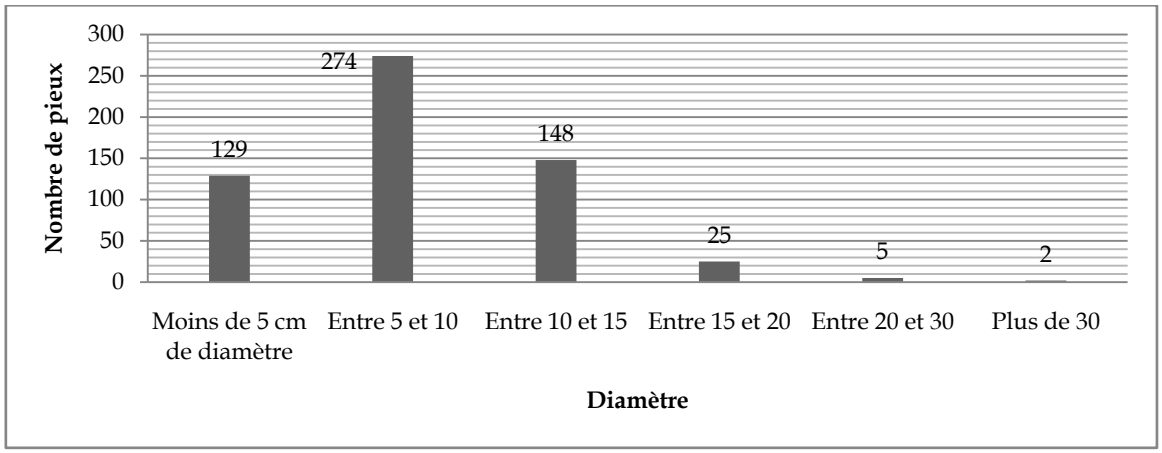


FIGURE 135 - Diamètres minimums des pieux.

Dans le même temps, le type de débitage a été analysé et noté[504]. Les pieux sont identifiés selon s'ils sont taillés sur quartier (ou refend), s'ils se présentent sous la forme d'une bille[505] (écorcée ou non parfois) ou demi-bille, s'ils sont taillés sur dosse (ou dits aussi « faux-quartier »), sur rayon, en bois de brin[506], en « manche de pelle[507] » ou selon divers types de débitage effectués sur un même pieu et les bois naturels comme les petites brindilles par exemple (FIGURE 136).

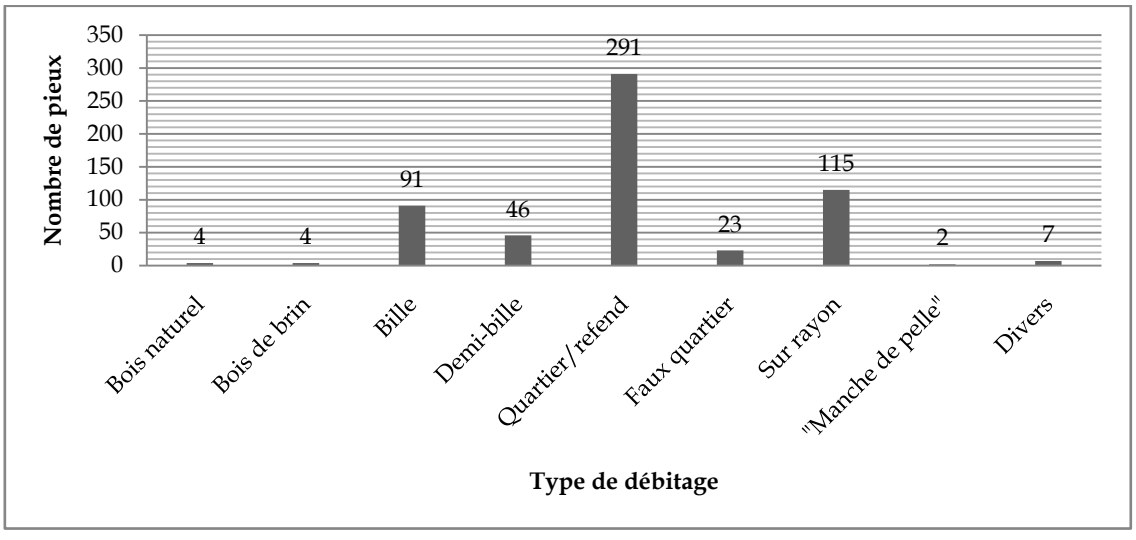


FIGURE 136 - Nombre de pieux en fonction de leur débitage.

[504] *Cf.* Chapitre I, page 47- 49.
[505] Arbre complet naturel ou quasi-complet.
[506] Bois comprenant le cœur entier de l'arbre.
[507] Une taille permettant d'enlever l'écorce comme l'équarrissage mais qui arrondie la pièce comme s'il s'agissait d'une bille.

FIGURE 131 - Répartition des essences, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

FIGURE 132 - Répartition des pieux en chêne, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

FIGURE 1 - Répartition des pieux en aulne, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

FIGURE 134 - Répartition des pieux en hêtre, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

Environ 50 % des pieux sont taillés en quartier ou sont des refends. Les bois débités sur rayon, un peu moins de 20 %, sont essentiellement des chênes et des hêtres. La forme de bille et demi-bille concerne la plus grande variété d'essence ligneuse. La majorité des billes (15,6 %) et des demi-billes (7,9 %) sont des aulnes, mais cela concerne aussi un bouleau, certains ormes, hêtres et frênes, les noisetiers et les *Prunus*, le saule, un pieu en chêne vert, deux Maloidées, l'érable, l'ajonc/genêt, l'épicéa et le sapin. Les 4 % des pieux débités sur dosse ou faux-quartier sont en chêne, en hêtre et en aulne. Les bois de brin (0,6 %) sont des aulnes, des ormes et des chênes. Les deux pieux en « manche de pelle » sont des frênes provenant de la même US 44578 (.74[508] et .86[509]). Les bois naturels, non taillés, d'une proportion faible de 0,6 % sont en chêne, en hêtre ou sont des essences indéterminées. Enfin, les types de débitage dits divers (1,2 %) sont généralement des quartiers ou faux-quartiers difficilement identifiables de par leurs recoupes et concernent des pieux en chêne, en aulne et une essence indéterminée (racine).

Une cinquantaine de pieux présentent des départs de branches bien conservés et orientés. En les observant en détail, il est possible de déterminer le sens de l'arbre par rapport au débitage du pieu. C'est-à-dire que, pour les essences concernées, il est considéré que les branches se dirigent naturellement vers le houppier de l'arbre. Ainsi, pour 2,6 %, soit 15 pieux, la pointe du pieu correspond à la base de l'arbre. La majorité est constituée d'aulnes[510]. Les autres pieux sont des Maloidées[511], du frêne[512] et du chêne[513]. À l'inverse, 35 pieux, soit 6 % de l'ensemble des bois, ont la pointe du pieu qui était à l'origine dans le sens du houppier de l'arbre. En grande majorité il s'agit également d'aulne[514], ainsi que de l'érable[515], de deux frênes[516] et de trois chênes[517].

b. Le quai CAI 9

Lors de la campagne de 2016, il a été possible de participer au démontage du quai 9 (sablière, poteaux et contrefiches) et plus particulièrement de sa partie ouest (sablières 44191 et 44467 ; poteaux 44303/304/306/309/312/314/316/318/341/343/345 ; 44190/192/193/194). L'objectif à la fouille était de restituer l'intégralité de la chaîne de montage des bois d'œuvre et leurs liens avec les blocs et les dalles de micaschiste (FIGURE 137).

Le substrat rocheux suit un pendage irrégulier du sud vers le nord. Il est en partie tapissé de plusieurs séquences de sables qui renfermaient les différents aménagements plus anciens sur pieux. Si ces derniers ont été écrêtés, voire supprimés par endroits, ces sables ont probablement été travaillés, voire nivelés par endroits, pour la préparation de l'aire de pose des architectures de pierre et de bois du futur caisson CAI 9.

---

508 *Cf.* Volume II, Annexe 7, planche 56, 307.
509 *Cf.* Volume II, Annexe 7, planche 57, 308.
510 40907.2 (**155**)/11 (**165**), 44103.3 (**192**)/5 (**194**)/8 (**197**), 44489.13 (**342**), 44544.34 (**385**) et .53 (**404**)
511 44350 (**42**)
512 44489.10 (**339**) et 44544.16 (**372**)
513 40907.23 (**176**), 44489.15 (**344**), 44578.55 (**533**) et .90 (**567**)
514 40775.18 (**88**)/19 (**89**)/21 (**91**)/25 (**95**)/26 (**96**)/28 (**98**)/30 (**100**)/32 (**102**)/36 (**106**)/39 (**109**)/41 (**111**), 40901.14 (**136**)/22(**144**), 40906.7 (**152**)/8 (**153**), 40907.4 (**157**)/7 (**160**)/8 (**161**)/14 (**168**)/16 (**170**)/34 (**184**), 44103.4 (**193**), 44009 (**204**), 44093.24 (**237**), 44544.43 (**394**)/44 (**395**)/45 (**396**)/67 (**417**)/72 (**422**)
515 40907.20 (**173**)
516 40775.4 (**84**) et 40907.17 (**171**)
517 40543 (**3**), 44093.17 (**230**) et 44578.11 (**568**)

Les sablières sont assemblées entre elles à mi-bois et les poteaux sont assemblés aux sablières par un système de tenon et mortaise. Aucun assemblage n'est chevillé. Les traces d'équarrissage sont visibles ainsi que leur changement de sens en fonction du positionnement de l'outil[518]. Le tout est posé sur un solin de dalles de micaschistes, taillées diversement, et disposées à plat sur une ou plusieurs assises[519].

L'ordre de montage des façades et probablement des systèmes de levage (encoche pour passage d'une corde) par deux chèvres à treuil (une à chaque extrémité de la sablière) nécessaires au chantier de construction des quais ont pu être mis en évidence par le biais d'un examen tracéologique systématique dirigé par Frédéric ÉPAUD[520,521]. Il a alors démontré que toutes les pièces de bois avaient été soigneusement préparées : finition de l'assise, pose des sablières, assemblage des poteaux, contre-fiches et madriers de façade[522], au préalable pré-dimensionnés et numérotés (FIGURE 138).

Les sablières et les poteaux composant le caisson sont tous exclusivement en chêne à feuillage caduc et sont taillés en bois de brin. Le poids d'une sablière du quai 9 est estimé à environ 1 tonne[523]. Ce poids est très important en regard des capacités de levage d'une chèvre et à la résistance des cordes en chanvre. Les sablières font chacune environ 8 à 10 m de long. Une fois assemblées, l'emprise du caisson initial est d'environ 411 m² (21 m x 21 m). Les poteaux, quant à eux, forment des modules rectangulaires de 42 x 34 cm de largeur et d'épaisseur[524], leur base est taillée en tenon afin de s'encastrer parfaitement dans les mortaises des sablières. En restitution, les arbres composant les sablières devaient faire un diamètre variable entre 60 et 70 cm et sont âgés d'environ 200 ans. Ce résultat dénote un milieu forestier de futaie, plutôt ouvert[525].

518 ÉPAUD 2015 *in* : GUITTON *ET AL.* 2015.
519 GUITTON *ET AL.* 2015 et en cours.
520 Chargé de recherches au CNRS UMR 6173 CITERES - LAT - Université de Tours.
521 ÉPAUD 2015, *in* : GUITTON *ET AL.* 2015, vol. 2, chapitre 10, 163-197.
522 Sablières hautes et parties hautes des poteaux non conservées.
523 Masse volumique du chêne variant entre 900 et 1300 kg/m^3.
524 Taillé dans la même largeur que la sablière.
525 ÉPAUD 2015 *in* : GUITTON *ET AL.* 2015.

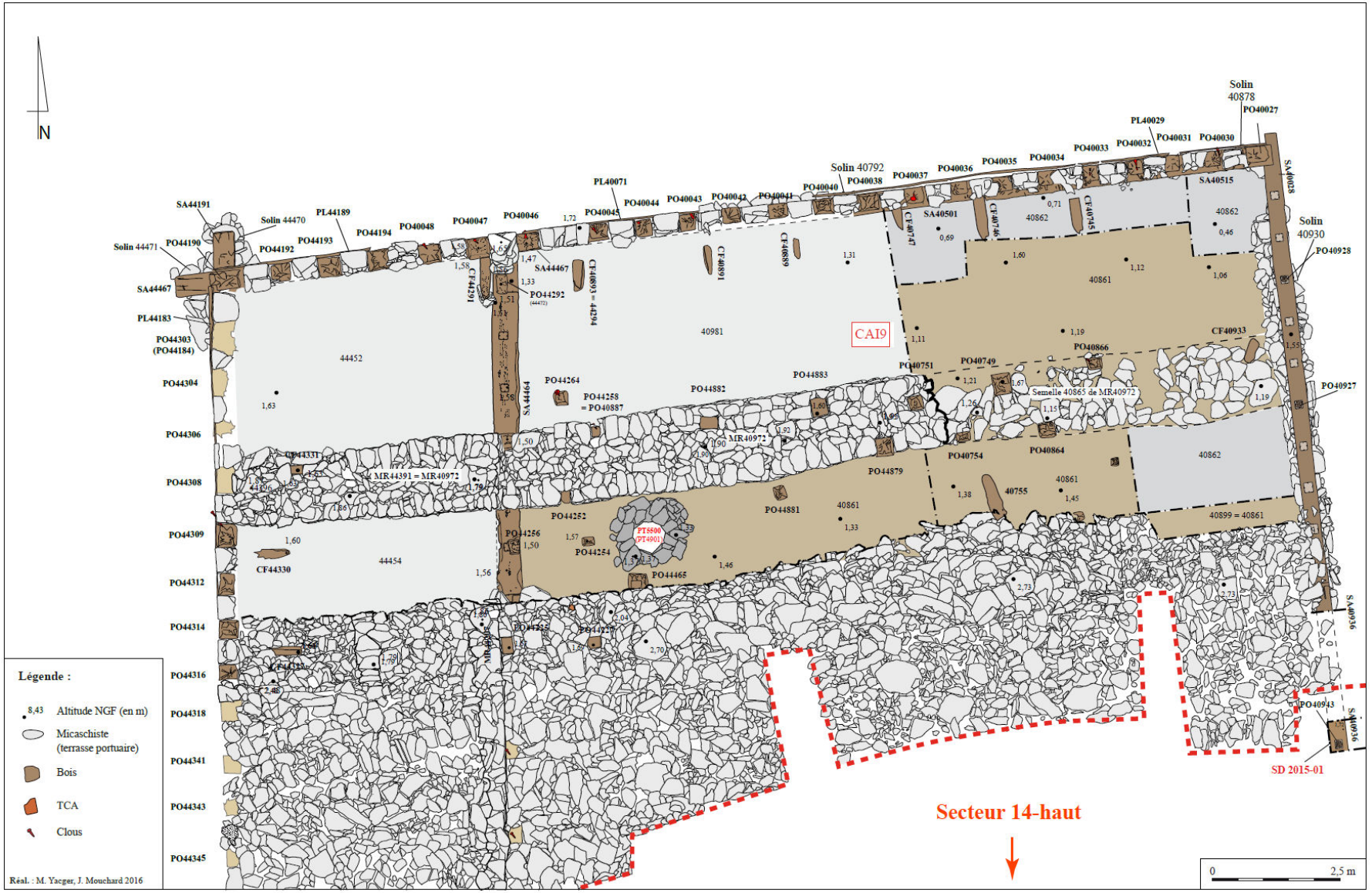


FIGURE 137 - Plan du CAI 9 et de son armature en bois analysée directement sur le terrain, réal. J. MOUCHARD, M. YACGER, tirée de GUITTON *ET AL.* 2015, 59.

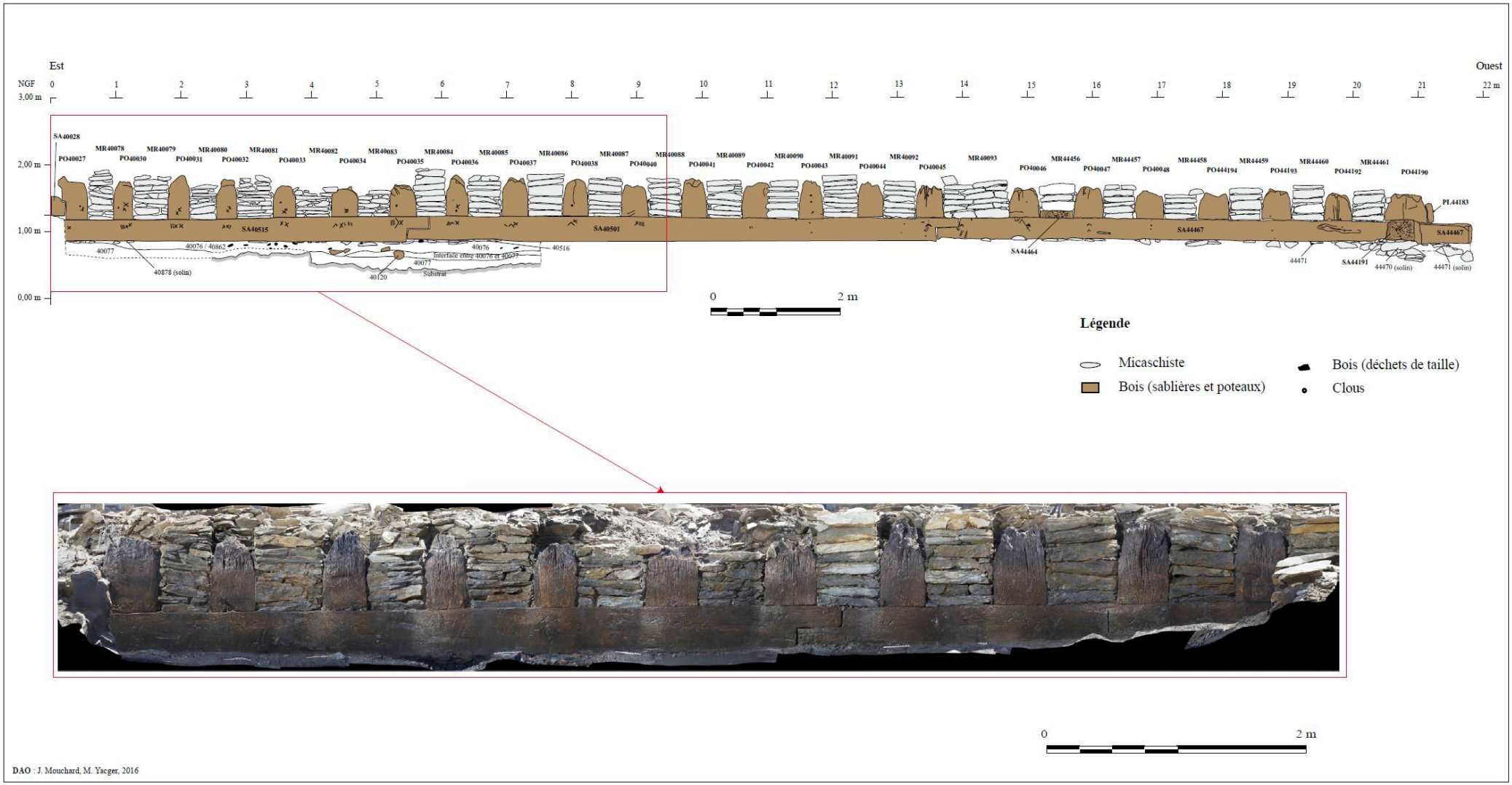


FIGURE 138 - Élévation nord en bois du caisson 9 avec les sablières basses et les poteaux conservés, réal. J. MOUCHARD, M. YACGER, tirée de GUITTON *ET AL.* 2015, 53.

2. Analyse xylo-entomologique

a. Résultats généraux

Parmi les 583 pieux observés, 85 présentent des traces d'infestation, soit 14,58 % de l'ensemble (TABLEAU 147). Au sein de ces pieux, on comptabilise 529 galeries de forme et de taille diverses.

Secteur	Nb de pieux analysées	Nb de pieux infestés	% d'infestation	Nb total galerie	Gal. Archéo.	Gal. Tapho.	% Archéo.	% Tapho.
14 (sous CAI 9)	254	26	10,24	54	42	12	77,78	22,22
15	201	35	17,41	140	100	40	71,43	28,57
16	121	21	17,36	279	22	257	7,89	92,11
18	7	3	42,86	56	6	50	10,71	89,29
TOTAUX	**583**	**85**	**14,58**	**529**	**170**	**359**	**30,56**	**69,44**

TABLEAU 147 - Comptage et pourcentage d'infestation des bois, par secteur.

À la différence des sites comprenant du bois carbonisé, il est possible de distinguer deux grandes catégories de galeries :

- Les « archéologiques », pour un peu plus de 30 % des galeries, qui correspondent à des traces d'insectes xylophages dont l'attaque s'est déroulée avant l'enfouissement des vestiges ; soit lors de l'utilisation du bois, soit durant son travail, soit même avant sa coupe. Elles sont reconnaissables essentiellement aux vermoulures gorgées d'eau plus ou moins bien conservées à l'intérieur des galeries. Il ne s'agit donc que d'insectes xylophages terrestres. Le sens des galeries par rapport au fil du bois peut aussi donner une indication. Elles peuvent être parallèles ou perpendiculaires, contrairement aux individus aquatiques. Cela concerne 4,46 % de l'ensemble des infestations (14,58 %), les autres 10,12 % concernent la deuxième catégorie de galeries.

- Les « taphonomiques » ou actuelles, à près de 70 %, sont un cas particulier pour le site de Rezé. En effet, il s'agit des infestations ayant eu lieu après l'enfouissement des vestiges et l'abandon du site. Plus particulièrement, il s'agit d'infestations ayant eu lieu entre les campagnes de fouille, lorsque l'eau recouvre les vestiges en bois d'importantes dimensions récemment mis au jour, mais qui ne sont plus protégés par les sédiments. Leur attestation s'établit à partir des nombreuses galeries peu profondes, en surface des structures et s'entrecroisant, sans vermoulure et avec des restes de nacre de coquillage. Ces échantillons, tels que la sablière 40072 et les pieux 40907.20/29 et 29 bis et 44340 bis, sont infestés par les vers d'eau de type *teredinidae*[526] ou *limnoria*. La coquille, légèrement torsadée, semble appartenir à la partie interne d'un coquillage[527] (FIGURE 139).

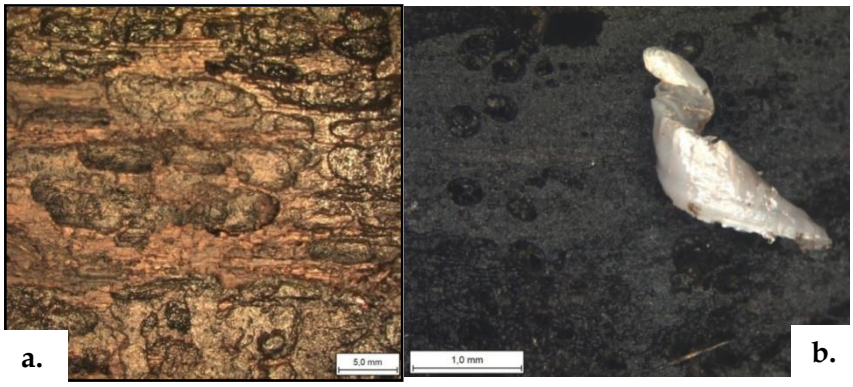


FIGURE 139 - a. Galeries peu profondes et au sens chaotique, 44340 bis (**315**). **b.** Vue d'un fragment de coquillage appartenant à un vers aquatique xylophage actuel, 40907.20 (**142**).

[526] *Cf.* Volume III, page 155.
[527] PALMA et SANTHAKUMARAN 2014.

Dans un souci de présentation et de traitement des données et également parce que la priorité de ce travail est d'identifier les individus archéologiques, l'inventaire des pieux[528] ne répertorie que les éléments en bois infestés par les individus archéologiques. Les individus actuels pourraient faire l'objet d'une autre étude, plus spécifiquement portée sur la taphonomie des vestiges et l'attractivité des matériaux périssables après leur excavation[529].

Ainsi, parmi l'ensemble des 583 pieux, les insectes xylophages terrestres, dont l'attaque a eu lieu lors du choix, du travail ou de l'utilisation du bois, sont attestés sur 61 pieux, soit 10,46 % de la totalité des bois étudiés (TABLEAU 148).

Secteur	Nb de structures analysées	Nb de pieux infestés archéo	% d'infestation
14 (sous CAI 9)	254	21	8,27
15	201	34	16,92
16	121	4	3,31
18	7	2	28,57
TOTAUX	**583**	**61**	**10,46**

TABLEAU 148 - Comptage et pourcentage d'infestation « archéologique » des bois, par secteur.

Les bois infestés sont majoritairement en chêne à feuillage caduc (*Quercus* F. C.), soit 48 structures, cinq sont en hêtre (*Fagus sylvatica*), quatre en aulne et un pieu en bouleau, un en érable, un en frêne et un en orme (TABLEAU 149 ; FIGURE 140).

Essence	Nb de pieux	N° catalogue
Aulne	4	189 ; 201 ; 366; 412
Bouleau	1	134
Chêne F. C.	48	3 ; 5 ; 7 ; 8 ; 14 ; 15 ; 18 ; 29 ; 31 ; 32 ; 64 ; 72 ; 79 ; 81 ; 116 ; 117 ; 118 ; 130 ; 131 ; 133 ; 135 ; 138 ; 141 ; 145 ; 156 ; 182 ; 185 ; 208 ; 211 ; 220 ; 223 ; 315 ; 326 ; 329 ; 340 ; 352 ; 363 ; 376 ; 410 ; 415 ; 436 ; 449 ; 463 ; 475 ; 488 ; 505 ; 513 ; 544
Érable	1	173
Frêne	1	367
Hêtre	5	22 ; 36 ; 82 ; 341 ; 398
Orme	1	387

TABLEAU 149 - Liste des essences infestées, nombre de pieux, et leur numéro d'inventaire correspondant.

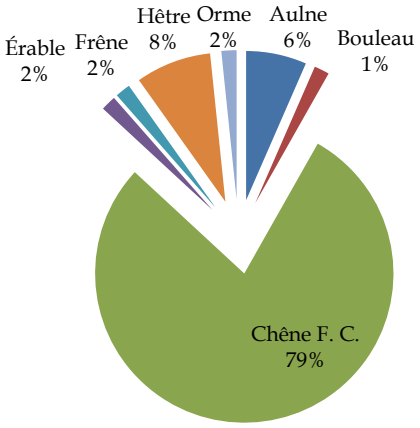


FIGURE 140 - Proportion des essences infestées.

L'identification des espèces d'insectes xylophages a été possible grâce à la qualité des galeries conservées. Les vermoulures gorgées d'eau, voire gonflées, une fois celles-ci séchées lentement ont parfois fourni de précieuses indications[530]. Enfin, dans quelques cas, des individus adultes, juste après ou pendant leur nymphose, ont été pris au piège et ont ainsi été très bien conservés au sein du bois (type scolyte). Cependant, après leur observation hors du contexte humide dans lequel ils étaient préservés, les individus ont commencé à se

[528] Volume II, Annexe 7, page 311.
[529] Domaine de la conservation du patrimoine.
[530] *Cf.* Chapitre II, page 103.

désagréger rapidement (en quelques heures) au contact de l'oxygène[531]. Ils ont alors été individualisés et placés dans des tubes d'éthanol mais n'ont pas pu être déterminés anatomiquement. Cette situation a rendu difficile, voire impossible, d'effectuer des photographies au MEB satisfaisantes. Connaître l'espèce exacte aurait aidé à appréhender le type et l'ampleur de l'infestation de l'arbre voire peut-être de la forêt d'origine.

L'ensemble des galeries analysées ouvre un éventail de cinq espèces/genres et familles concernés dans l'infestation des pieux (TABLEAU 150). Compte tenu de la faible proportion de vermoulure identifiable et de l'avancée des connaissances sur les traces d'insectes, 26,47 % des galeries restent indéterminables. Elles sont rondes et ont un diamètre oscillant entre 1 et 2 mm. Elles pourraient éventuellement se rapprocher de la famille des Ptinidae. Or, les identifications variées révélées pour ce contexte archéologique (ci-après) ainsi que la complexité des biologies de reproduction des insectes, ont permis d'établir de nombreuses nuances à l'ensemble de ce travail et donc de laisser en suspens, pour l'heure, ces galeries indéterminées.

La famille des Cérambycidés, ou capricornes, est attestée à un taux de 24,12 %. Essentiellement observés au niveau du cambium ou sous l'écorce des feuillus, il s'agit plus particulièrement de capricornes de bois frais[532], c'est-à-dire, infestant soit du bois abattu et non écorcé, soit plus rarement, du bois encore sur pied. En revanche, ce taxon recouvre environ 160 espèces différentes. Les galeries sont reconnaissables à leur forme ovale et de taille assez importante (supérieure à 3 mm de diamètre). La vermoulure étant rarement conservée, l'identification s'arrête au rang de la famille.

Un ensemble de 28 galeries, soit 16,47 % semble correspondre à du lycte (*cf. Lyctus*)[533]. Au sein de bois abattus, secs et ouvragés, les larves progressent dans des galeries rondes et larges de 1 à 3 mm, qu'elles creusent dans le sens du fil du bois en ciblant généralement les cellules riches en amidon.

La famille du scolyte (*Scolytus ou Scolytinae*)[534] est attestée à 15,29 %. Sa présence est d'autant plus certifiée que le bois contient des individus entiers, conservés sous l'écorce du chêne, de l'orme et du frêne. Cet insecte, cambiophage, attaque principalement sous l'écorce des bois sur pied, plus rarement sur des bois morts en forêt. Les scolytes des feuillus ont une biologie complexe et assez mal connue pour l'heure. Par exemple, le scolyte communément appelé scolyte du chêne (*Scolytus intricatus*), a pour hôtes divers chênes (du genre *Quercus*), mais peut occasionnellement coloniser le hêtre, le charme, le châtaignier et les ormes. En revanche, d'autres espèces de scolytes sont strictement spécifiques à une essence, comme le petit scolyte de l'orme (*Scolytus scolytus*)[535]. Les individus conservés se sont dégradés très rapidement et leur identification n'a pas permis de trancher une sous famille ou un genre en particulier. De plus, cette famille étant, comme indiqué précédemment, pour l'heure assez

[531] Extrémité des élytres qui se recroquevillent, pattes qui se relèvent et se raidissent, soulevant un point à aborder en méthodologie pour amélioration.
[532] *Cf.* Volume III, pages 33.
[533] *Cf.* Volume III, pages 93.
[534] *Cf.* Volume III, pages 71.
[535] Il convient donc de ne pas se fier seulement au nom de l'espèce, mais d'intégrer toute une recherche bibliographique sur la biologie de l'insecte donné.

mal connue car elle comprend de nombreuses espèces, l'identification s'arrête à la sous famille des *Scolytinae*.

La présence à 12,94 % de Ptinidae est principalement représentée par l'espèce *Anobium punctatum,* reconnaissable grâce à sa vermoulure typique, pour 4,71 %, ont été attestées. Pour rappel, cette espèce concerne des bois abattus, secs et ouvragés. Il ne s'agit pas de l'espèce *Nicobium catsaneum,* en raison de l'absence des coques de nymphoses caractéristiques, ni du genre *Oligomerus* pour des raisons de taille des unités de vermoulure. *Anobium punctatum* n'est présent qu'avec certitude sur le pieu 44578.25 (**505**).

Secteur	Nb de pieux infestés	Gal. Archéo	*Anobium punctatum*	*Cerambicydae*	*Cf. Lyctus*	*Ptinidae*	*Scolytus*	Indéterminés	TOTAUX
14 (sous CAI 9)	21	42	8	15	0	2	13	4	42
15	34	100	0	17	10	20	13	40	100
16	4	22	0	3	18	0	0	1	22
18	2	6	0	6	0	0	0	0	6
TOTAUX	**61**	**170**	**8**	**41**	**28**	**22**	**26**	**45**	**170**
%	**-**	**100**	**4,71**	**24,12**	**16,47**	**12,94**	**15,29**	**26,47**	**100**

TABLEAU 150 - Comptage et pourcentage des infestations « archéologiques » des bois, par secteur.

Les essences infestées sont principalement le chêne F. C., quel que soit l'insecte. Les capricornes se sont intéressés au bouleau et à l'aulne en plus du chêne. Les trois espèces (indéterminées) de scolytes attaquent chacune une essence, soit le chêne, soit le frêne, soit l'orme. Enfin, au sein des insectes indéterminés, l'infestation s'est déroulée dans les bois de chêne, de hêtre, d'aulne mais aussi d'érable (TABLEAU 151). Les pieux présentant des traces de xylophages sont majoritairement situés dans le secteur 15, puis dans le secteur 14. Mais, ils ne semblent pas former d'alignement ou de groupement particulier (FIGURE 141).

	Nb de pieux	N° catalogue	Essence
Anobium punctatum	1	505	Chêne F. C.
Cerambicydae	22	5 ; 7 ; 18 ; 31 ; 64 ; 134 ; 135 ; 185 ; 201 ; 211 ; 220 ; 326 ; 352 ; 363 ; 376 ; 410 ; 412 ; 475 ; 488 ; 513 ; 544	Chêne F. C. ; Bouleau ; Aulne
Cf. Lyctus	4	118 ; 145 ; 156 ; 208	Chêne F. C.
Ptinidae	3	130 ; 449 ; 463	Chêne F. C.
Scolytus	5	3 ; 131 ; 133 ; 367 ; 387	Chêne F. C. ; Frêne ; Orme
Indéterminés	26	8 ; 14 ; 15 ; 22 ; 29 ; 32 ; 36 ; 72 ; 79 ; 81 ; 82 ; 116 ; 117 ; 141 ; 173 ; 182 ; 189 ; 223 ; 315 ; 329 ; 340 ; 341 ; 366 ; 398 ; 415 ; 436	Chêne F. C. ; Hêtre ; Aulne ; Érable

TABLEAU 151 - Insecte identifiés en fonction de l'essence et des pieux (numéros de catalogue)

Enfin, la présence de pourriture cubique ou molle[536] a également été observée sur tous les échantillons sans exception. Sa présence, ou absence, peut fournir des indices sur le type et l'importance de l'infestation mais aussi sur l'état général du bois. Or, dans le cas de Rezé et de son contexte humide des bois, la présence de champignon lignivore n'offre pas d'indication particulière mis à part confirmer que le bois était en contact avec l'eau.

[536] MOSKA DEL HOYO *ET AL.* 2010.

FIGURE 141 - Plan de répartition des pieux infestés (rouge) parmi l'ensemble des pieux analysés, D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.

b. Résultats détaillés par secteur

Le détail des résultats n'est pas présenté par US comme pour les autres sites étudiés mais plutôt par secteur, puis par US, afin d'avoir une lecture et une appréhension du terrain plus aisée. Les pieux sont présentés ci-dessous depuis l'ouest (secteur 16) vers l'est (secteur 18) du site. Seules les photographies les plus parlantes sont ajoutées à cette partie de présentation des résultats. Il ne faut pas hésiter à feuilleter le catalogue des pieux en complément. La forme parfois biscornue et la taille parfois importante des éléments en bois n'ont pas forcément aidé à la réalisation systématique des photographies de détail des galeries. Les échantillons observés ont toutefois été conservés dans des emballages humides afin d'avoir la possibilité de les analyser à nouveau.

- Secteur 16

Pour l'ensemble des 121 pieux se situant dans le secteur de la vasière, quatre pieux en chêne présentent des traces d'infestation (TABLEAU 152).

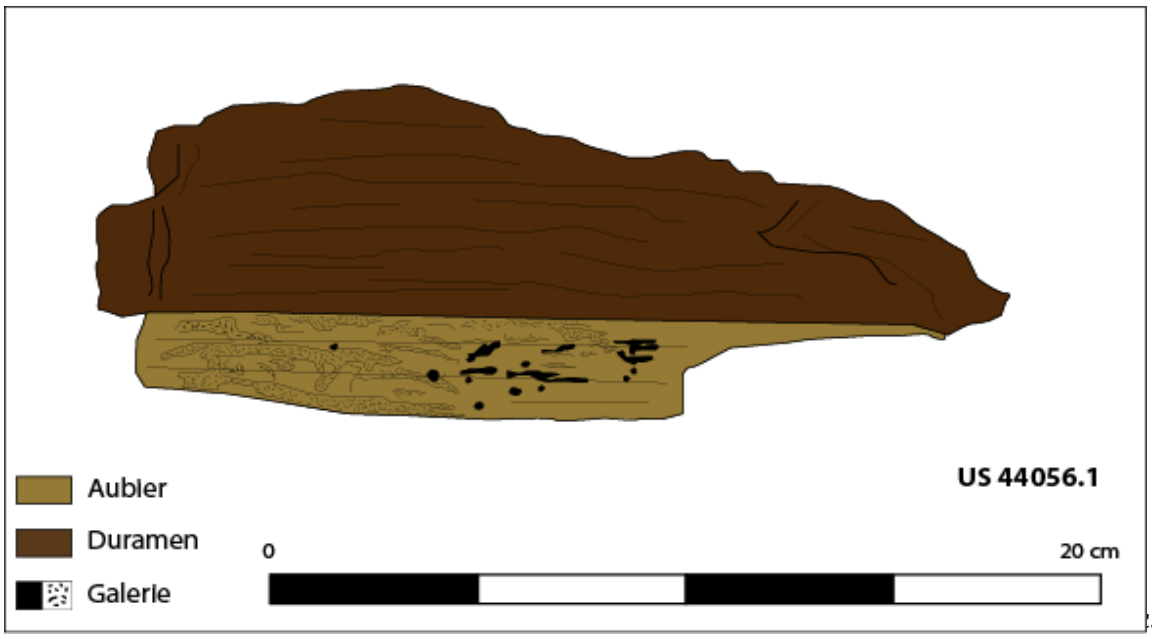
US	Nb de pieux	Nb de pieux infestés	Traces d'insectes « archéologiques »
44409	1	0	
44027	1	0	
44029	1	0	
44040	1	0	
44056	13	3	x
44086	1	0	
44087	2	1	x
44093	27	0	
44103	9	0	
44116	3	0	
44120	1	0	
44171	1	0	
44175	1	0	
44181	2	0	
44182	1	0	
44185	1	0	
44231	8	0	
44253	3	0	
44301	3	0	
44321	35	0	
44348	3	0	
44350	2	0	
44448	1	0	
TOTAL	**121**	**4**	**-**

TABLEAU 152 - Liste des pieux du secteur 16.

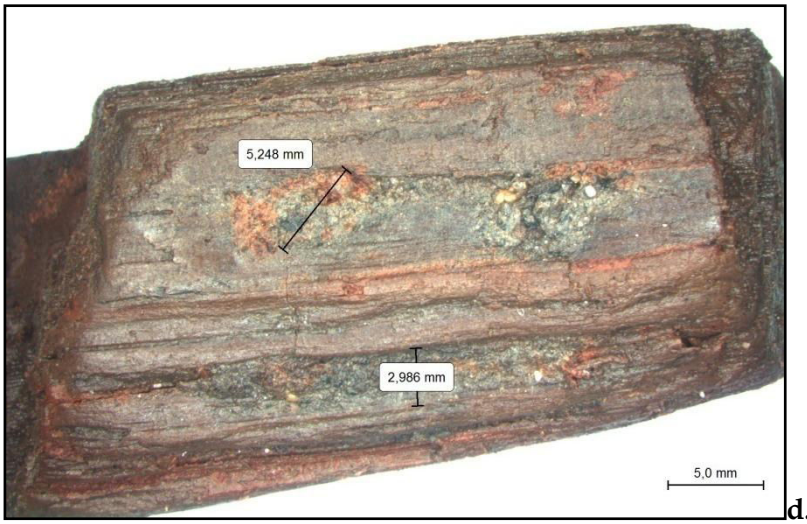
Trois d'entre eux appartiennent à l'US 44056 qui concerne 13 échantillons au total. La planchette en chêne, dont une extrémité est taillée, 44056.1 (**208**), possède au niveau de son aubier un ensemble de 18 galeries rondes d'environ 1 mm de diamètre de type *cf. Lyctus*. Ces galeries suivent le sens du fil du bois, sur 10 cm et ciblent les vaisseaux du bois initial du chêne. La vermoulure fine semble être de type fleur de farine, mais en raison d'une possible déformation ou pertes d'information, l'identification s'arrête à une proposition du genre (FIGURE 142 a, b et c). Sur les piquets en chêne 44056.4 (**211**) et 44056.13 (**220**), ont été observés respectivement, une galerie ovale de 3,5 mm de diamètre et deux galeries ovales entre 3 et 5 mm de diamètre obstruées par les sédiments et ainsi privées de vermoulure (FIGURE 142 d). Ces galeries sont situées dans l'aubier conservé entièrement, indiquant qu'il s'agit de galeries sous-corticales. La forme ovale conduit à identifier la famille des Cérambycidés.

Le poteau en chêne 44087 (**223**), outre les galeries récentes de xylophages aquatiques d'au minimum 2 mm de diamètre chacune, présente une petite galerie de forme irrégulière à ronde d'environ 1 mm, sans vermoulure conservée et donc notée indéterminée.

a. **b.**



c.



d.

FIGURE 142 - Pieux infestés du secteur 16 **a**. Vue des galeries en tangentielle. **b**. Zoom sur la vermoulure gorgée d'eau. **c.** Dessin de répartition des galeries sur l'ensemble de la pièce, DAO M. TORITI. **d.** Galeries ovales de type cérambycidé obstruées par la vase.

- Secteur 14 : sous le CAI 9

Pour l'ensemble des 254 pieux et piquets mis au jour sous le quai postérieur à cet aménagement lors de la campagne de 2016, 21 éléments en bois ont présenté des traces d'insectes xylophages terrestres datant du moment de l'utilisation du bois (TABLEAU 153).

US	Nb de pieux	Nb de pieux infestés	Traces d'insectes « archéologiques »
44371	1	1	x
44394	1	0	
44403	1	0	
44413	1	0	
44414	1	0	
44487	1	0	
44489	31	4	x
44498	2	1	x
44544	59	7	x
44546	57	4	x
44578	98	4	x
44610	1	0	
TOTAL	**254**	**21**	**-**

TABLEAU 153 - Liste des pieux du secteur 14, situés sous le CAI 9.

Le piquet en chêne 44371 (**326**) présente deux petites galeries ovales de 2 mm de diamètre de type cérambycidé, sans vermoulure car il s'agit de traces discrètes sur le bois, comme lessivées par le débitage et la mise en eau.

Les piquets en chêne 44489.11 (**340**) et en hêtre 44489.12 (**341**) ont chacun une galerie indéterminée (FIGURE 143). Les pieux en chêne 44489.27 (**352**) et 44489.41 (**363**) ont des galeries de type cérambycidé de 5 à 6 mm de diamètre (FIGURE 144). Le pieu **363** a son aubier entièrement conservé, ce qui précise qu'il s'agit de capricorne de bois frais, attaquant sous l'écorce.

La pointe de pieu en aulne 44498.2 (**366**), taillé en demi-bille, présente sur son côté externe du bois, une galerie ronde d'environ 1 mm. Mais ne possédant pas de vermoulure conservée, elle est restée indéterminée.

Parmi les 59 pieux de l'US 44544, sept d'entre eux sont infestés :

- Le pieu en orme 44544.36 (**387**) (FIGURE 145) et le piquet en frêne 44544.11 (**367**) (FIGURE 146) ont des traces particulièrement régulières, voire symétriques, dénonçant une attaque d'insectes typique de la famille des scolytes. Plus particulièrement pour le piquet **367**, onze nids[537] ont été enregistrés, illustrant une infestation importante et probablement sur plusieurs générations compte tenu de la petite taille de la pièce de bois.
- Trois des pieux, les chênes 44544.21 (**376**), 59 (**410**) et l'aulne 62 (**412**), sont infestés par des insectes de la famille des Cérambycidés de bois frais sous les écorces retirées lors de l'analyse.
- Les galeries rondes, d'environ 2 mm de diamètre, situées sur les deux derniers pieux, le hêtre 44544.47 (**398**) et le chêne 44544.65 (**415**) sont indéterminées.

Quatre pieux en chêne provenant de l'US 44546 présente des traces d'infestations : indéterminées (44546.11 (**436**)), typiques des capricornes avec une galerie de plus de 5 mm de diamètre (44546.59 (**475**)) (FIGURE 147) et des traces typiques de la famille des Ptinidae

[537] Un nid est composé d'une galerie maternelle et d'une succession de petites galeries larvaires.

(44546.26 (**449**) et 46 (**463**)) avec quelques vermoulures fusiformes mais trop déformées par l'eau et la vase pour pouvoir être mesurables.

Les quatre derniers pieux en chêne, font partie de l'ensemble 44578. Le pieu 44578.25 (**505**) présente huit galeries avec de la vermoulure fusiforme bien conservée, discriminante pour l'attribution à l'espèce *Anobium punctatum* (FIGURE 148). Les trois autres 44578.8 (**488**) (FIGURE 149), 33 (**513**) et 66 (**544**) ont, au sein de leur aubier préservé intégralement, des traces de capricornes de bois frais. Le pieu **488** a fourni une date d'abattage située entre les années 66 et 79 apr. J.-C.

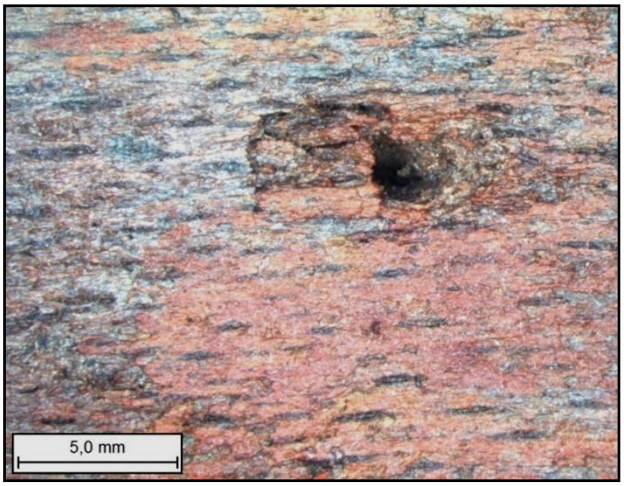


FIGURE 143 - Pieu 44489.12 (**341**), galerie indéterminée.

FIGURE 145 - Pieu en orme 44544.36 (**387**), galeries de la famille des scolytes.

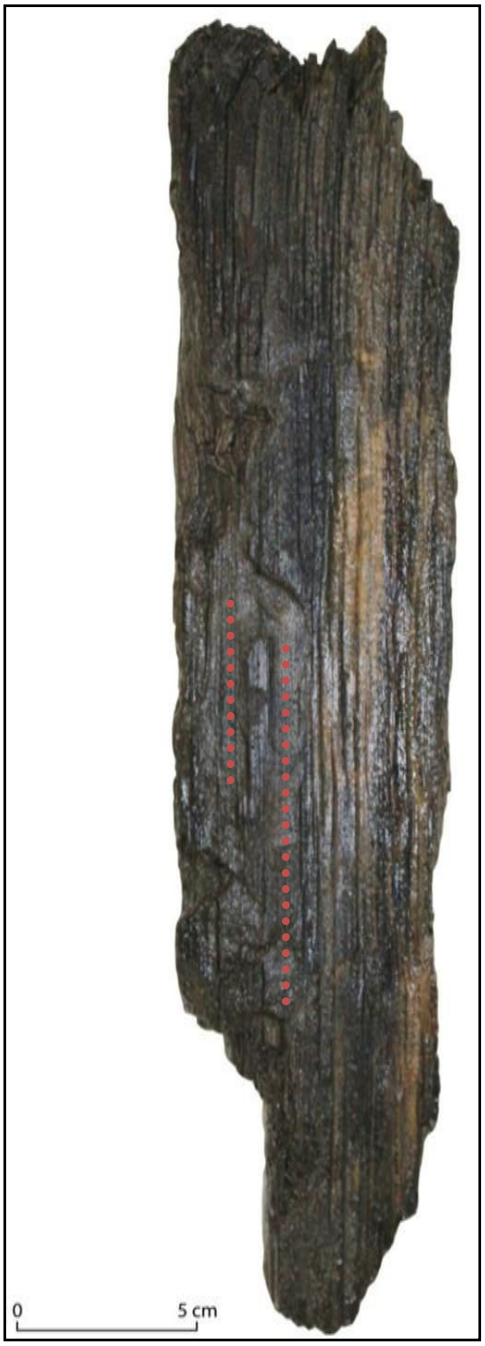


FIGURE 144 - Pieu 44489.41 (**363**), galeries sous corticale de cérambycidé, cl. L. GANTIER.

FIGURE 146 - Pieu en frêne 44544.11 (**367**). **a.** galeries de la famille des scolytes : nid avec galeries maternelle et larvaires ; **b.** détails galeries larvaires. **c.** Vue d'ensemble du pieu, cl. L. GANTIER.

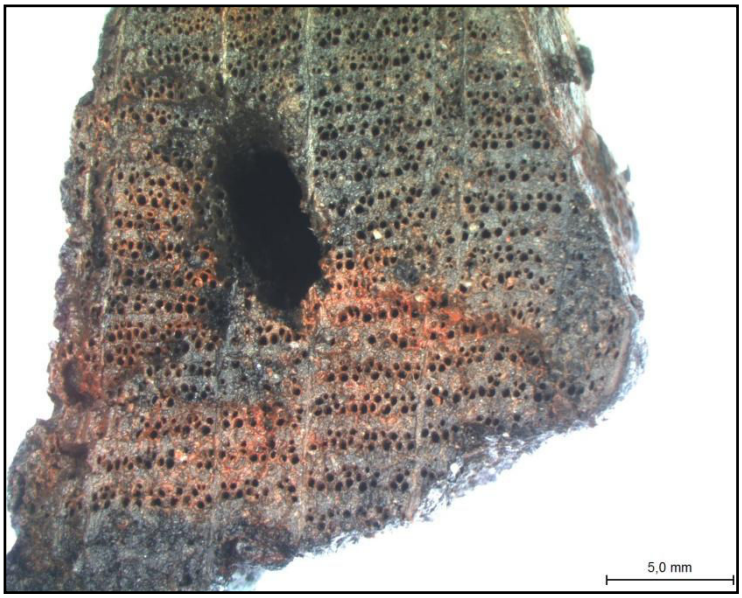
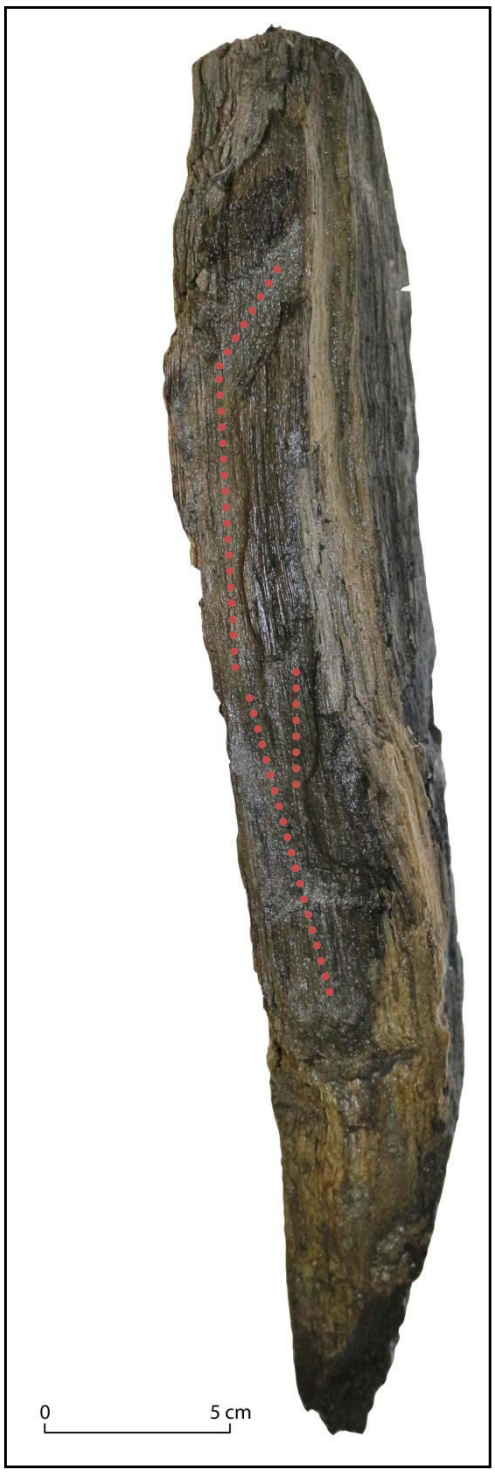
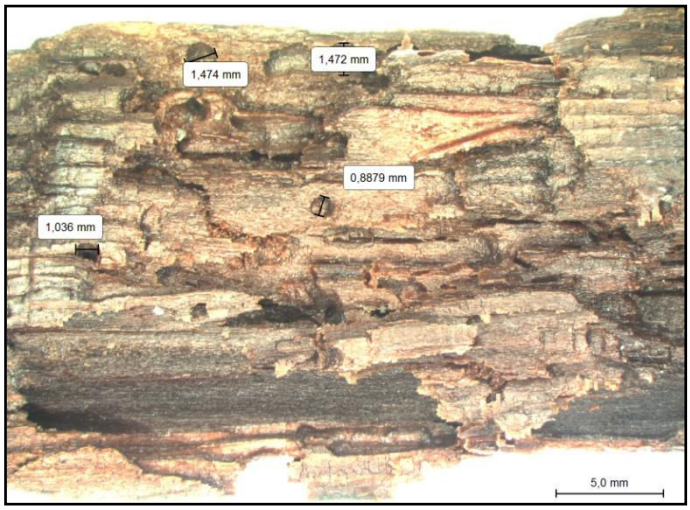
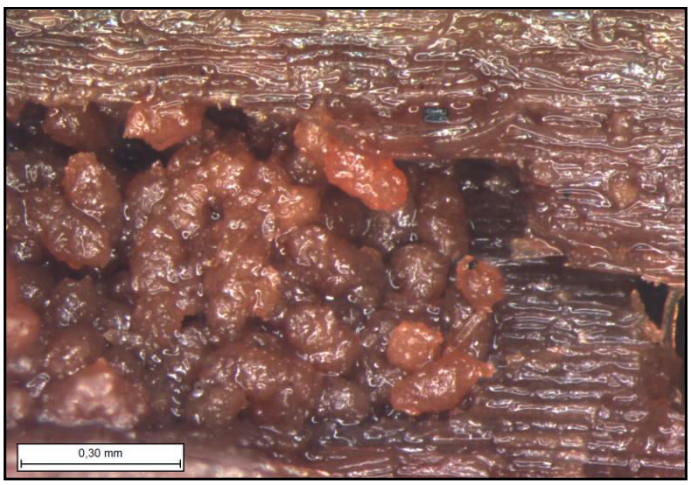


FIGURE 147 - Pieu en chêne 44546.59 (**475**), galerie ovale de la famille des capricornes.





a.



b.

FIGURE 148 - Pieu 44578.25 (**505**) avec galeries (**a.**) et vermoulures fusiforme de type *Anobium punctatum* (**b.**).

FIGURE 149 - Pieu en chêne 44578.8 (**488**) avec des galeries de type capricorne, cl. L. GANTIER.

- Secteur 14/15 et 14/16

Pour l'ensemble des 201 pieux analysés pour le secteur 14/15, qui correspond essentiellement à la partie est du quai 9 ultérieur, 34 éléments en bois présentent des traces d'infestation (TABLEAU 154).

US	Nb de pieux	Nb de pieux infestés	Traces d'insectes « archéologiques »
40540	1	0	
40542	1	0	
40543	1	1	x
40679	1	0	
40680	59	11	x
40681	1	1	x
40686	1	0	
40687	3	0	
40688	1	0	
40694	1	0	
40696	1	0	
40698	2	1	x
40699	1	0	
40708	2	0	
40709	2	0	
40710	1	1	x
40775	33	2	x
40791	1	0	
40814	4	2	x
40861	1	1	x
40901	27	8	x
40906	8	0	
40907	34	4	x
44069	1	0	
44276	1	0	
44286	1	0	
44325	3	0	
44340	4	1	
44356	1	0	
44363	2	0	
44409	1	1	x
TOTAL	**201**	**34**	**-**

TABLEAU 154 - Liste des pieux du secteur 14/15.

Le pieu en chêne 40543 (**3**) présente un minimum de cinq galeries situées sous l'écorce retirée en laboratoire. Elles ont été identifiées comme appartenant probablement à la famille des *Scolytus*. Il n'y a pas d'élytre ni de vermoulure fiable. Les galeries font entre 1 et 1,5 mm de diamètre (FIGURE 150).

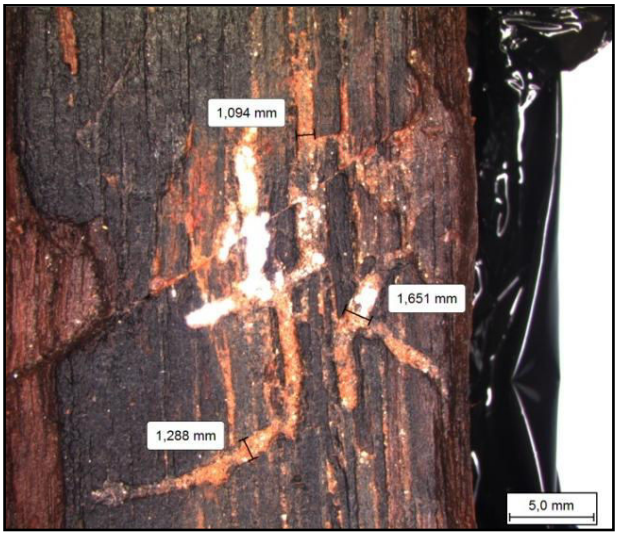


FIGURE 150 - Vue du cambium du pieu en chêne 40543. Galeries visibles et individualisées mesurées.

L'US 40680 correspond à un ensemble de 59 pieux et piquets dont 11 d'entre eux sont infestés. Les pieux en chêne 40680.1 (**5**), 3 (**7**), 15 (**18**) et 31 (**31**) ont révélés des galeries ovales de type capricorne (FIGURE 151), avec respectivement quatre galeries de 2-3 mm, deux de 2-3 mm, une de 2 mm s'enfonçant de 3 cm dans le bois et une de 3 mm dans l'aubier conservé complet, voire allant jusqu'à la limite du duramen. Les rares vermoulures préservées sont trop gorgées d'eau pour être déterminées. Le pieu (**18**) a fourni une date d'abattage comprise entre 87 et 91 apr. J.-C. Les sept pieux restants en chêne (40680.4 (**8**), 11 (**14**), 12 (**15**), 28 (**29**) et 32 (**32**)), et en hêtre (40680.20 (**22**) et 36 (**36**)) ont des galeries irrégulières à rondes, situées dans l'aubier, qui demeurent indéterminées en raison de l'absence ou de la non lisibilité de la vermoulure. Les tailles de ces galeries font respectivement entre 3-4,5 mm ; 2-3 mm ; 2 mm ; 4 mm et 3 mm de diamètre (FIGURE 152).

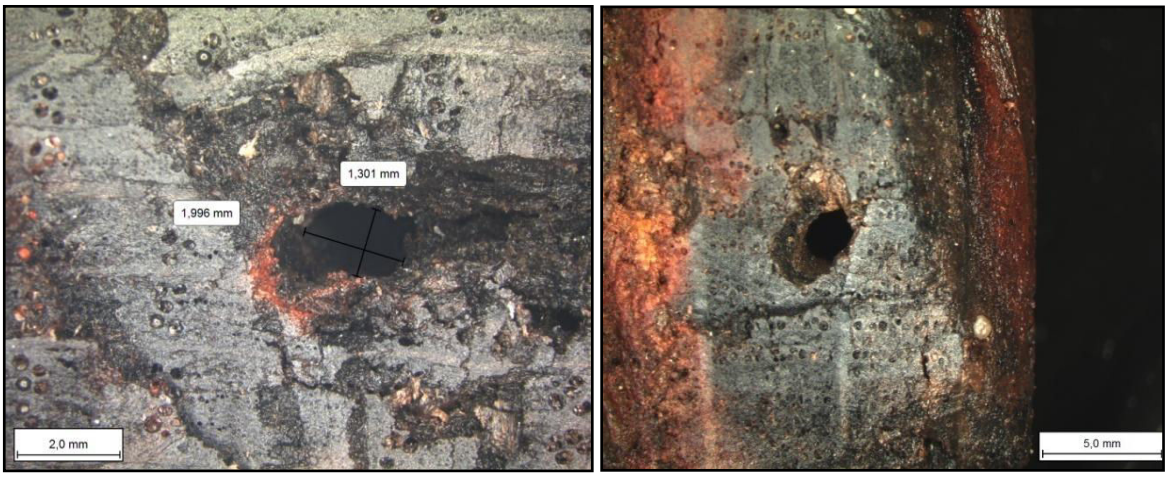
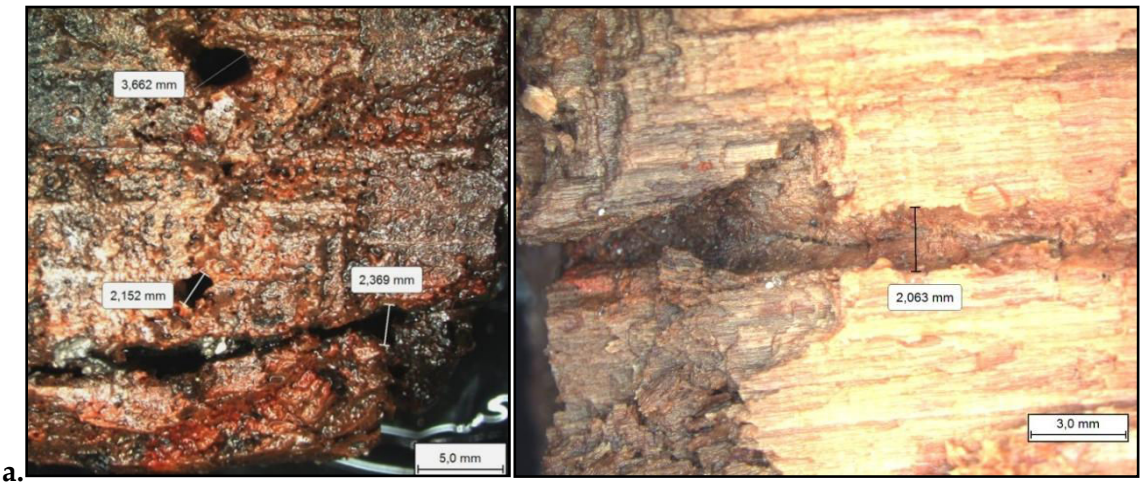
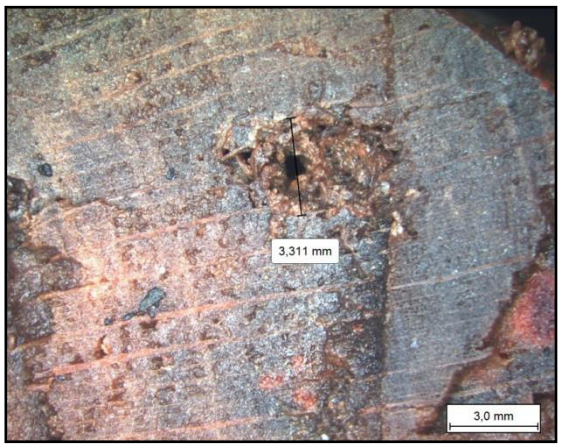


FIGURE 151 - Pieux 40680.1 (**5**) et 40680.15 (**18**), exemple de galerie ovale de 2 mm de diamètre.



a. **b.**



c.

FIGURE 152 - Exemples de galeries indéterminées provenant de l'US 40680. **a.** Galeries irrégulière en transversale. **b.** Galerie en longitudinale sans vermoulure. **c.** Galerie en transversale avec vermoulure indéterminable.

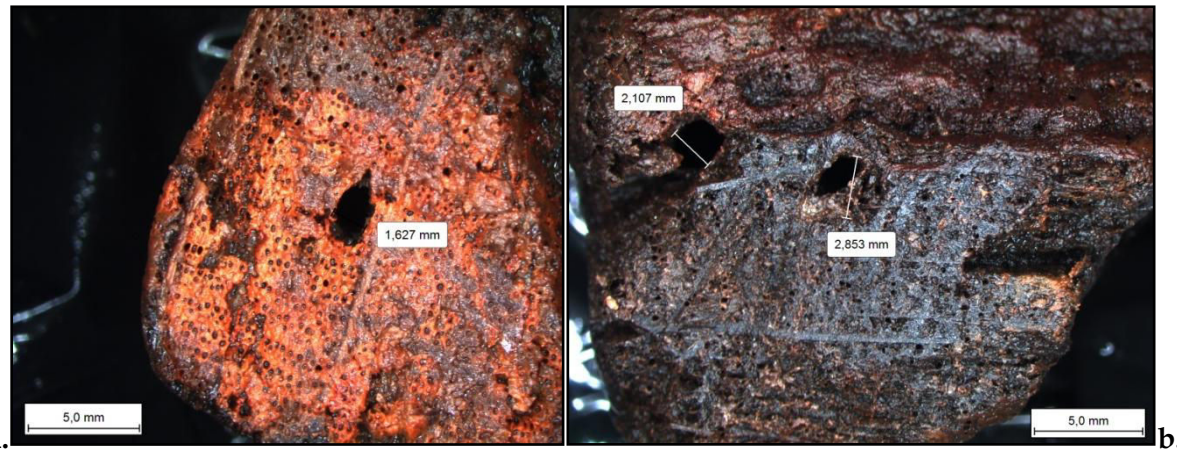
L'US 40681 correspond à un fragment de chêne, peut-être un élément de pieu ou de couvercle de seau ou de tonneau. Une galerie ovale de 3 mm a été identifiée. De type cérambycidé, elle est visible en transversale et parcourt l'aubier. Les vermoulures n'ont pas été conservées.

L'US 40698 contient deux échantillons en chêne dont un des deux (**72**) est infesté par trois galeries rondes conservées au niveau de l'écorce. Les galeries mesurent entre 1 et 2 mm de diamètre mais n'ont pas de sens particulier ni de vermoulures. Elles demeurent donc indéterminées.

L'US 40710 est une pièce de bois équarrie en chêne ayant conservé son écorce. Une galerie ronde d'environ 1,5 mm a été enregistrée au niveau du cambium, sous l'écorce, mais reste indéterminée.

L'US 40775 correspond à un ensemble de 34 pieux et piquets dont seulement deux d'entre eux sont infestés : 40775.1 (**81**) et 40775.2 (**82**) par un insecte indéterminé. La pointe de piquet en chêne 40775.1 possède, sur le sommet de la pièce, une galerie ronde d'environ 1 à 2 mm de diamètre. Visible en transversale, la galerie traverse l'aubier sans atteindre le duramen. La vermoulure est absente. Le piquet en hêtre 40775.2 fournit, au niveau de son aubier, une galerie ronde de même type que 40775.1. La vermoulure quant à elle est absente.

L'US 40814 est répartie en quatre échantillons, dont deux sont infestés. Le piquet en chêne 40814.7 (**116**) est colonisé par une galerie ronde, voire irrégulière, de 1 mm de diamètre. La galerie est située dans l'aubier et au niveau de la tête de l'objet. La vermoulure est présente mais demeure indéterminée (FIGURE 153 a). La pointe de piquet en chêne 40814.8 (**117**) comporte de deux galeries rondes à irrégulières de 1 mm. Elles se trouvent côte à côte et dans l'aubier. La vermoulure est présente mais reste indéterminée. Il s'agit probablement du même type de galerie que pour 40814.7 (FIGURE 153 b).



a. **b.**

FIGURE 153 - a. Vue de la galerie et mesures, 40814.7. **b.** Vue des galeries et mesures, 40814.8.

L'US 40861.1 est un pieu en chêne. Au niveau de la tête de l'objet, il a été observé 15 galeries rondes d'environ 1 mm de diamètre et potentiellement identifiées comme *cf. Lyctus*. Les vermoulures, fines, sont présentes mais restent fragiles. Les galeries suivent le sens du fil du bois en ciblant le bois initial et parcours la pièce sur 12 cm de longueur (FIGURE 154).

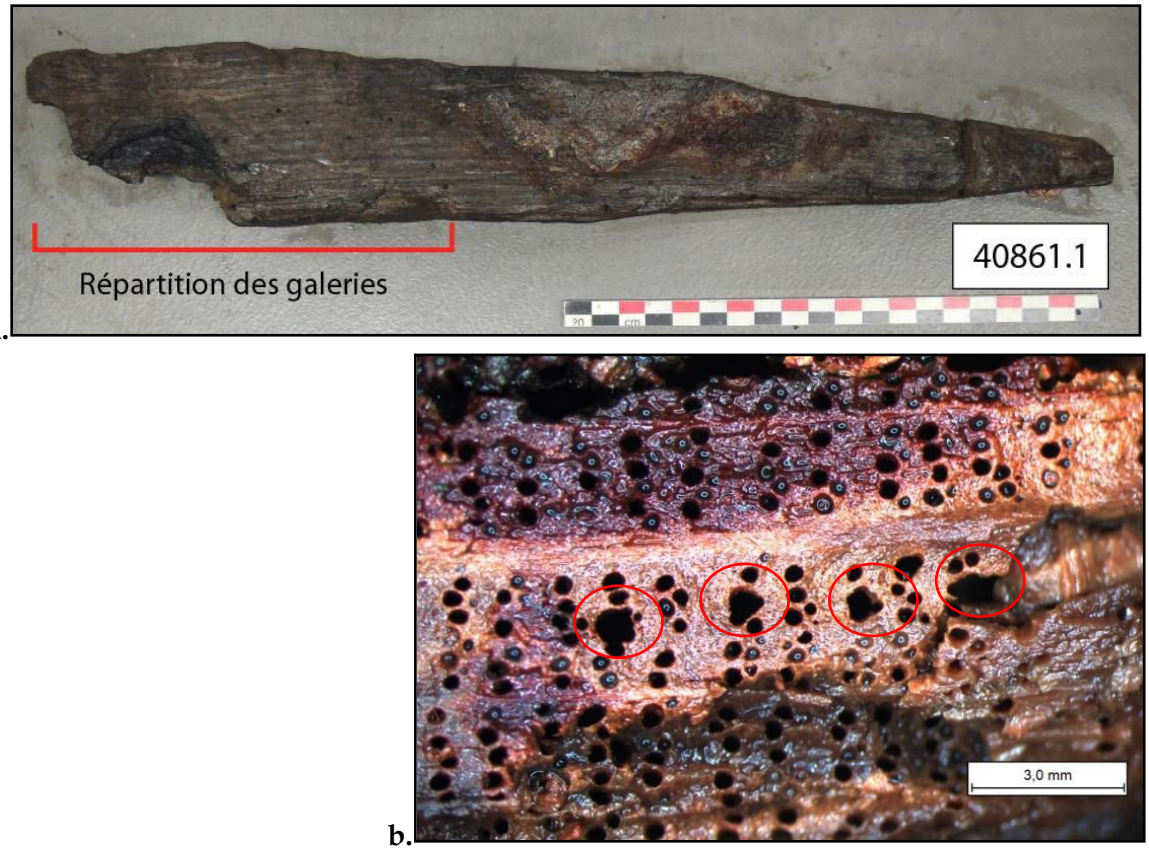


FIGURE 154 - a. Vue de l'ensemble de la pièce 40861.1 et localisation des galeries (cl. L. GANTIER). **b**. Zoom sur les galeries ciblant le BI en coupe transversale.

L'US 40901 correspond à un lot de 27 pieux et piquets dont huit présentent une infestation d'insectes xylophages. Le piquet en chêne 40901.23 (**145**) a des galeries ciblant les vaisseaux du bois initial faisant penser à *cf. Lyctus*. Le pieu en chêne 40901.9 (**130**) présente une galerie ronde au sommet de l'objet. La galerie est perpendiculaire par rapport au fil du bois et mesure 3,4 mm de diamètre, identifiée Ptinidae. Les vermoulures forment un ensemble d'unités fusiformes non mesurables. Ce pieu est daté entre 36 et 37 apr. J.-C. Abattu à la même date, le pieu en chêne 40901.10 (**131**) est un objet ayant conservé son écorce, notamment au niveau de la pointe du pieu. Quelques traces de galeries ont été repérées au niveau du cambium vers le sommet de la pièce où l'écorce n'était pas conservée ou a été enlevée pendant la phase de travail du bois. Lors de l'analyse, l'écorce restante fut retirée pour confirmer la présence d'éventuels insectes. Au total, huit galeries minimum ont été observées (FIGURE 155 a). Les galeries sont rondes et mesurent environ 2 mm de diamètre. La vermoulure est bien conservée, hétérogène. De plus, cinq individus (entiers ou partiels) ont été retrouvés coincés au sein des galeries (FIGURE 155 b et c). Il s'agit ici d'individus de type *Scolytus*. Une fois à l'air libre, les restes d'insectes se sont dégradés en quelques heures. Ils ont été placés dans de l'éthanol afin de les conserver le plus possible. Leur identification est complexe dans ce cadre[538].

[538] Tant que toute la documentation nécessaire à leur identification n'est pas rassemblée, il a été jugé préférable d'éviter de les manipuler.

a.

b.

c.

FIGURE 155 - a. Vue des galeries situées dans le cambium, en tangentielle. **b**. Vue d'un insecte coincé dans une galerie et vermoulure associée. **c.** Exemple d'un autre insecte bloqué dans une galerie, visible du dessus.

Le pieu en chêne 40901.11 (**133**), daté entre 5 et 20 apr. J.-C., présente lui aussi de l'écorce où il a été observé cinq galeries de type S*colytus,* de même type que 40901.10, sauf qu'il n'a pas été retrouvé d'élytre ou d'insecte adulte. Trois pieux ont des traces typiques de capricornes de bois frais dont les vermoulures n'ont toutefois pas été préservées. Il s'agit du pieu en bouleau 40901.12 (**134**) (FIGURE 156), du pieu en chêne 40901.13 (**135**), et du pieu 40901.16 (**138**), avec respectivement deux galeries s'échelonnant sur 8 cm le long du cambium, cinq galeries (2-3 mm) et une galerie faisant 6 mm de diamètre (FIGURE 157).

FIGURE 156 - Dessin de répartition des galeries ovales du pieu 40901.12 (**134**) sur l'ensemble de la pièce et mise en corrélation avec l'échantillon photographié, cl. L. GANTIER, DAO M. TORITI).

FIGURE 157 - Vue de la galerie ovale de 6 mm, Pieu 40901.16 (**138**).

Enfin, le dernier pieu de cette série, correspond à une pointe de pieu en chêne, 40901.19 (**141**) qui est infesté à son sommet par deux galeries rondes indéterminées de 2 mm de diamètre situées dans l'aubier. Les vermoulures sont présentes mais demeurent indéterminables.

L'US 40907 correspond à un lot de 35 pieux et piquets dont quatre sont infestés par des insectes xylophages. Le piquet en chêne 40907.3 (**156**) présente à son sommet, deux galeries rondes de type *cf. Lyctus.* Mesurant environ 2 mm de diamètre, elles se situent dans l'aubier et ciblent certains vaisseaux du bois. La vermoulure est plutôt fine, mais est mal conservée.

L'échantillon 40907.35 (**185**), daté de 49-50 apr. J.-C., est un pieu en chêne où il a été observé une galerie ovale le long du cambium conservé de 6 mm de diamètre, de type cérambycidé de bois frais. Les vermoulures n'ont pas été conservées. Les deux pieux restants : l'érable 40907.20 (**173**) et le chêne 40907.29 (**182**) ont chacun une galerie ronde ou irrégulière d'environ 2 mm, indéterminée.

L'US 44409.1 (**329**) correspond à un pieu en chêne. Au niveau de la tête du pieu, il a été observé une galerie ronde d'environ 4 mm. La galerie, visible en transversale, est située dans le duramen et demeure indéterminée. La vermoulure est absente, remplacée par la vase (FIGURE 158).

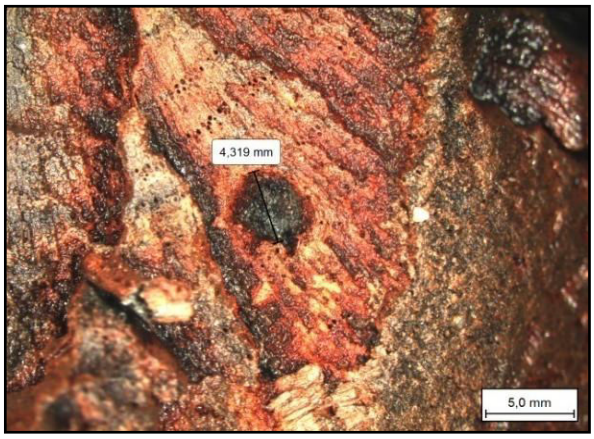


FIGURE 158 - Vue de la galerie indéterminée, échantillon 44409.1 (**329**).

- Secteur 18

Quelques pieux, prélevés en 2013 et 2014, demeuraient dans les réserves. Dans la dynamique d'observation des pieux, il a été souhaité d'effectuer des tests sur ces éléments. Parmi les sept pieux analysés, deux ont fournis des traces d'insectes xylophages (TABLEAU 155).

US	Nb de pieux	Nb de pieux infestés	Traces d'insectes « archéologiques »
43062	1	0	
43098	1	1	x
43107	1	0	
43112	1	0	
43113	1	0	
43118	1	1	x
43353	1	0	
TOTAL	**7**	**1**	**-**

TABLEAU 155 - Liste des pieux du secteur 18.

L'US 43098 (**189**) correspond à un pieu en aulne. Cet objet compte, outre une cinquantaine de galeries actuelles creusées par des xylophages aquatiques, une galerie isolée de 1 mm, ronde, indéterminée car ne présentant pas de vermoulure identifiable.

L'US 43113 (**201**) concerne un élément de pieu en aulne infesté à sa surface par six galeries ovales de type cérambycidé. Elles mesurent entre 2 et 3 mm de diamètre. Les vermoulures n'ont pas été conservées (FIGURE 159).

FIGURE 159 - Vue des galeries ovale, parcourant l'aulne 43113 (**201**) en tangentielle.

- Test sur le caisson monumental, CAI 9

Les sablières basses ainsi que les poteaux ont fait l'objet d'une observation systématique sur le terrain, lors de la campagne 2015 et 2016.

Les éléments notables concernent la contre-fiche 44638 et la sablière 44191 (la sablière ouest du quai) et plus particulièrement sa partie sud qui se trouve en bordure de la terrasse antique permettant d'accéder au secteur 14 haut, c'est-à-dire à la zone de transport et de stockage des marchandises circulant depuis le port jusqu'aux entrepôts situés plus haut sur la berge[539]. Quelques galeries, deux au minimum, mais probablement quatre ou cinq, de formes ovales et de dimensions impressionnantes entre 1 et 2,5 cm de diamètre sont visibles le long de la sablière et sur l'aubier conservé à la base du poteau. Elles se dirigent principalement au sein de l'aubier et de la partie externe du bois. L'équarrissage, effectué à la hache[540], recoupe ces galeries, sans montrer une quelconque volonté de les effacer. Aucune vermoulure n'est conservée. En revanche, de par la taille unique de ces galeries, il s'agit très probablement de capricorne de bois frais et plus précisément de l'espèce *Cerambyx cerdo*[541] (FIGURE 160). Il s'agit du plus gros capricorne existant de nos jours en France, spécifique au chêne à feuillage caduc. La taille de ses galeries limite la confusion possible avec d'autres espèces, c'est la seule espèce qui creuse des galeries de plus de 1 cm.

FIGURE 160 - Échantillon de la contre-fiche 44638 avec galeries de type *Cerambyx cerdo.*

[539] *Cf.* Chapitre III, page 149-150.
[540] Communication orale, F. ÉPAUD, Colloque sur les ports romains, juin 2018.
[541] *Cf.* Volume III, page 55.

C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE

L'approche de l'état sanitaire du bois à Rezé dévoile un ensemble d'espèces d'insectes xylophages intervenants à différents moment de la vie, de l'utilisation et de l'abandon du bois. Environ 10% de ces derniers sont infestés archéologiquement, c'est-à-dire, colonisés avant l'enfouissement des vestiges. Ce résultat est faible compte tenu de la grande quantité des bois observés et de leur taille. De plus, il faut considérer que contrairement à des charbons de bois archéologiques, les pièces sont « entières » et demande une adaptation des méthodologies de fouilles et d'analyses. À noter qu'il y a toutefois un bon nombre de pieux (26), soit un peu plus de 42 % de l'ensemble des pieux infestés, contenant des galeries pour l'heure indéterminées.

1. L'état sanitaire des premiers aménagements de berges

- Pieux et piquets : quelles fonctions ?

Au moment d'écrire ces lignes, cette question est en cours de discussion notamment avec pour objectif d'assembler toutes les données acquises : archéologiques, géomorphologiques, dendrochronologique, xylologique...

La fonction de ces pieux est très probablement multiple si l'on prend en compte les différentes concentrations des pieux, leur calibre moyen[542], des essences, comme l'aulne par exemple : alignements parallèles à la berge, "brise-lame" pour le secteur de la vasière (ou plage)[543], renforcements de la berge, piquets pour accrocher une barque, mais il ne s'agit pas forcément de ponton à proprement parler, *etc.* La dendrochronologie couplée aux données archéologiques une fois terminée, aidera peut-être à débloquer cet aspect en instaurant un potentiel phasage des pieux, comme l'a débuté L. GANTIER à travers la mise en évidence de quatre phases différentes d'aménagement[544] qui s'étalent sur la première moitié du Ier s. apr. J.-C.

Le secteur 15 est une zone de concentrations de pieux intéressante laissant apparaître de potentiels alignements (FIGURE 161). Parmi l'ensemble, il est possible d'observer quelques regroupements de pieux infestés, en particulier 40901.9/10/11/12 et 23 au centre. Or, il ne semble pas y avoir de réels liens entre ces attaques de xylophages compte tenu de leur nature : capricorne, lycte, scolyte qui sont des insectes se nourrissant du bois dans des contextes très différents.

La diversité taxonomique présente semble plaider en la faveur d'un approvisionnement relativement local en matière première, illustré par l'étude des pieux et par l'analyse palynologique, afin de réaliser de premiers aménagements avec un grand nombre de piquets[545]. Une chênaie-hêtraie semble former un milieu boisé assez dense proche du site avec en lisière de forêts, des essences plus héliophiles comme l'érable champêtre, le cornouiller, le houx, le frêne, l'orme, les maloidées, l'ajonc et le genêt... Nombre de ces

[542] Majorité des bois à environ 10 cm de diamètre.
[543] Débat en cours, RFO à venir.
[544] *Cf.* page 275.
[545] L. GANTIER ; A. GANNE et C. LEROYER en cours.

essences peuvent aussi se rencontrer dans les bois clairs, les fourrés ou les taillis, avec le noisetier, le bouleau ou encore le buis. Selon la palynologie, une aulnaie se trouve probablement à proximité du site, mais cependant un peu plus éloignée que la chênaie-hêtraie[546]. Enfin, les quelques pièces en sapin et en épicéa peuvent être interprétées comme des importations de forêts d'altitude[547].

FIGURE 161 - Plan de répartition des pieux infestés au sein du secteur 15.

[546] GANNE 2014.
[547] GANTIER 2016.

- Avant la mise en place de l'objet

Des arbres malades

Un total de cinq échantillons[548] a subi une attaque d'insectes xylophages attribuable au moment du choix de l'arbre, avant son travail, son acheminement jusqu'au site et sa mise en place en tant que pieu ou piquet sur la berge. Pour ces bois en particulier, la biologie des insectes concernés indique une colonisation intervenant avant même la coupe de l'arbre. Il s'agit principalement du taxon *Scolytus*. Les arbres concernés (un chêne, un orme et un frêne) étaient malades avant leur mise en œuvre. Ces galeries, si particulières, sont relativement petites (2 mm de diamètre) et se développe sous l'écorce des arbres, les larves se nourrissant exclusivement de *cambium* sur un arbre affaibli au préalable par un champignon inoculé par la femelle lors de la ponte. Cette infestation peut intervenir après la mort de l'arbre, toujours à cause de ce même champignon.

Le pieu 40901.10 est plus facilement identifiable de par les insectes retrouvés coincés dans les galeries. La pointe du pieu, où l'écorce est sauvegardée, était fichée dans le sable, ayant aidé à la conservation des galeries, de la vermoulure et des individus tout juste devenus adulte mais qui n'ont pas eu le temps de sortir du bois. Le pieu 40901.11, également infesté par du scolyte, est situé juste à côté du pieu décrit précédemment. Ils sont tous les deux en chêne. Il n'est pas possible à l'heure actuelle d'affirmer qu'il s'agit de la même espèce d'insecte, d'autant plus que ces deux pieux ne sont pas datés de la même phase d'abattage, respectivement, 36-37 apr. J.-C. et entre 5 et 20 apr. J.-C., mais cela indique toutefois une tendance des chênes de ce site archéologique à être sensibles à ces insectes. Plus largement, en prenant en considération l'orme et le frêne infestés, probablement par d'autres espèces de scolytes, plus spécifiques à ces essences. L'identification de ce xylophage soulève la problématique d'une forêt ou d'ensembles de populations ligneuses (population d'ormes, de chênes et de frênes) sensibles et malades. C'est particulièrement le cas pour l'échantillon d'orme (44544.11) qui arbore plusieurs nids sur une petite surface, dont l'état est sans doute à prendre en compte à une plus grande échelle (celle de l'arbre et de ses voisins proches). Selon l'espèce de scolyte, la population d'arbres infestés peut rapidement être dans un état de déclin, laissant ensuite la place à d'autres essences[549].

Ces insectes sont-ils morts avant le prélèvement du bois (mortalité naturelle liée à l'espèce) ou lors de l'immersion de la pièce travaillée dans l'eau ? Ils n'auraient ainsi pas eu le temps de creuser leur galerie de sortie pour l'envol. Sur des bois récents, des insectes morts « naturellement » coincés dans leur galerie de sortie quasiment terminée ont déjà été observés. Dans le cas de Rezé, les scolytes ne semblent pas avoir commencé à creuser leur galerie de sortie (aucune trace vue de l'extérieur de l'écorce) et appuie donc l'hypothèse d'une mort par immersion du pieu. Il aurait été intéressant de connaître l'espèce, car s'il s'agit d'une espèce inféodée à du bois vivant, cela révèle que le bois aurait été façonné et utilisé dans l'immédiat après sa coupe. L'autre cas de figure serait plus flou s'il s'agit d'une espèce pouvant infester un bois stocké ou mort en forêt.

Le total des galeries concernées avoisine la trentaine d'individus. Un ensemble donc anecdotique, mais aussi révélateur que le bois choisi n'est pas forcément sain au départ. À noter que pour le bois ouvragé, le scolyte n'est pas nuisible ni dérangeant, simplement parce

[548] N° 3 ; 131 ; 133 ; 367 ; 387.

[549] Cycle naturel forestier, NAGELEISEN *ET AL.* 2010 ; DAJOZ 2007.

qu'il se nourrit du *cambium*. De nos jours, retirer l'écorce suffit pour arrêter la prolifération. Cachés justement par l'écorce, leur présence n'a certainement pas été décelée et n'a pas gêné les artisans. Par contre, il est impossible de savoir s'ils avaient conscience de ce problème à l'échelle de la forêt.

Des phases de stockage

Un deuxième ensemble de 22 pieux ont été infestés après la mort de l'arbre, probablement lors d'une phase de stockage des bois non écorcés. Cette période peut être anthropique (bois mis de côté pas forcément sous abri, mais préférentiellement à même le sol) ou naturelle (bois mort en forêt puis récupéré dans un second temps). Il s'agit principalement de pièces colonisées par des insectes de type cérambycidé de bois frais, se nourrissant de *cambium* et d'aubier. La biologie générale de cette famille, indique un cycle évolutif d'une durée de deux ans minimum. Dans la plupart cas, les galeries de sortie de l'adulte étaient visibles, fortifiant ainsi l'idée d'un stockage, ou d'un entreposage des bois pendant au moins deux ans.

Au sein du secteur 15, trois US sont concernées : 40680 ; pour les piquets 1 et 3, l'attaque se centralise au niveau de la tête du pieu, endroit où le *cambium* est conservé ; 40901 pour les pieux 12, 13, 16 l'infestation intervient le plus souvent au niveau de l'écorce puis s'échelonne jusqu'à l'aubier ; de même que le cambium du pieu 40907.35, en partie rongé. Pour le secteur 18, seul l'échantillon 43118 est concerné par une attaque de cérambycidé sur toute la surface de l'objet. Le secteur 16 comprend deux piquets concernés par une attaque du *cambium* : 44056.4 et 44056.13. Enfin, sous le quai 9, une dizaine de pieux sont infestés, principalement en chêne mais aussi en aulne (44544.62).

Le total des galeries concernées avoisine la quarantaine d'individus. La variabilité des tailles (entre 2 et 5 mm) et des essences infestées (chêne, aulne, bouleau), plaide en faveur de la présence de différentes espèces en jeu. Leur identification précise, parmi les 250 espèces de capricornes admissibles, n'est toutefois pas encore possible. Il s'agit de l'ensemble d'infestation le plus important du site. Il est aussi révélateur d'une pratique : celle de la récupération de bois stockés soit à même le sol forestier, soit de bois groupés, avant d'être taillés en tant que pieu ou piquet. Était-ce pour des raisons pratiques ? Ces insectes sont plus facilement détectables que les scolytes de par leur taille plus importante (individus adultes aux longues antennes faisant parfois 1 à 2 cm de long) et conjointement par leurs dégâts plus visibles sur le bois. Peut-être que selon la fonction souhaitée par les constructeurs, ces traces n'étaient pas gênantes selon eux.

- Après la mise en place de l'objet, usage de bois en réemploi ?

Un ensemble de huit pieux soulève d'autres questionnements dans le choix du bois utilisé, via des infestations de Ptinidae (40901.9 ; 44546.26 et 46) particulièrement de petite vrillette (44578.25)[550] et de lycte (40861.1 ; 40901.23 ; 40907.3 et 44056.1). Ces insectes sont typiques du bois sec et plus particulièrement du bois d'œuvre, telle qu'une charpente par exemple, ou éventuellement, mais c'est plus rare surtout pour le lycte, du bois stocké écorcé sous abri. Comme les bois étudiés pour Rezé appartiennent à un contexte humide, ces insectes ont forcément infestés les bois avant leur mise en place dans l'aménagement des berges.

[550] Espèce également observée par D. PÉCRÉAUX et A. DONINI *in*: rapport 2014, Rapport préliminaire d'étude archéoentomologique : zone 4, secteur 16 [2014], p. 120. et à paraître.

Parmi l'ensemble de l'US 40901, les datations dendrochronologiques témoignent d'une succession d'abattage entre 25 et 53 apr. J.-C., dont seulement le pieu infesté 40901.9 est daté de 36-37 apr. J.-C. Il y a donc un moment de battement à prendre en compte entre l'abattage du bois et sa mise en place en tant que pieu. Ce point est en cours de discussion : il faut voir si les différents alignements avec des pieux d'une même phase et ceux qui sont infestés par les Ptinidae et le lycte ressortent particulièrement ou non. Le réemploi est par contre plus lisible auprès de la planchette infestée par le lycte car elle est retaillée en pieu (40836.1) pour pouvoir être fiché dans le sol.

Le total des galeries concernées avoisine une trentaine d'individus pour les Ptinidae et une trentaine d'individus pour le lycte, ce qui sous-entend un ensemble de bois plus anciens réemployés ou anciennement stockés.

2. L'état sanitaire de la phase monumentale des quais

Au fil des caissons construits en bois de chêne, depuis l'est vers l'ouest, les datations dendrochronologiques attestent de la progression du chantier de construction du port. À l'est, les caissons ont les dates d'abattages successives les plus anciennes du site jusqu'à joindre le quai 9, dernier découvert à ce jour. Entre les quai 9 et 12, les datations se chevauchent[551] et l'hypothèse de stockage de certaines grumes est avancée. Cette idée est confirmé par la présence typique, bien que rare, du grand capricorne des chênes (*Cerambyx cerdo*)[552]. Cet insecte, lors de son état larvaire, forme de grandes galeries (de 1 à plus de 2 cm de diamètre) sous-corticales et aubieuses, exclusivement sur des vieux chênes[553]. L'identification à l'espèce a été possible grâce à la taille de ces galeries qui ne peuvent pas être attribuées à d'autres espèces terrestres. Cette taille indique par ailleurs que la larve était proche, voire avait atteint sa taille finale avant d'effectuer sa nymphose pour devenir adulte. Il est donc envisageable d'appréhender son cycle évolutif comme ayant été pratiquement, si ce n'est entièrement, accompli : soit deux ans de développement au sein du bois abattu et encore non écorcé. Ces analyses confirment donc un stockage des bois avant leur travail et leur utilisation. Cependant, les caractéristiques particulières de cette espèce induisent un stockage de grumes non écorcées, voire éventuellement avec une légère écorce décollante. Ce stockage des grumes de gros calibres (plus de 60 cm de diamètre) avait très probablement lieu en forêt, directement après l'abattage des bois, car l'étape suivante est un pré-équarrissage des bois avant leur acheminement jusqu'au site où ils seront travaillés et débités en fonction de leur emplacement précis dans les ateliers « éphémères » de charpentiers retrouvés[554] qui suivaient la progression du chantier de construction[555].

De plus, à travers l'étude tracéologique réalisée par F. ÉPAUD, l'équarrissage des sablières et des poteaux signale la recoupe de ces traces d'insectes. Une interrogation, toujours en suspens, se pose alors pour les autres sablières et poteaux, sans traces d'insectes : est-ce que les artisans, en préparant les pièces de bois n'auraient pas gommé, volontairement ou non,

551 Rapport en cours, communication orale colloque sur les ports romains, juin 2018.
552 BERGER 2012 ; Volume III, page 55.
553 Plus rarement sur des châtaigniers.
554 44206 et 44031 dans le secteur 16 ; GUITTON *ET AL.* 2015 et à paraître.
555 ÉPAUD 2015 *in* GUITTON *ET AL.* 2015 ; ÉPAUD 2011.

d'éventuelles galeries, en retirant l'écorce, voire une partie de l'aubier ? Toutefois, l'usage d'une sablière et d'un poteau infesté, bien que superficiellement (aubier), pose une autre question, celle de la conscience de l'existence de cet insecte. De par sa taille, il n'est pas possible qu'ils ne l'aient pas vu, bien que les traces d'outils recoupant le bois ne semblent pas montrer une quelconque insistance sur les parties infestées. Les gestes d'équarrissage appuient plus au niveau des nœuds et des départs de branches pour éviter les arrachements[556].

3. Une forte proportion de bois sains ?

La majorité des bois de Rezé, 90 %, sont en apparence sains. La problématique qui intervient à ce moment de l'analyse est : pourquoi et comment ses bois ont-ils pu conserver un état sanitaire satisfaisant ? Ces données sont à différencier de l'état de conservation, qui peut être généré par plusieurs facteurs comme le milieu dans lequel les bois ont été conservés (vase), le contexte de la fouille (inondation, sécheresse...), les méthodes employées pour la conservation des vestiges (bacs remplis d'eau, iophilisation...).

L'éventuelle perte d'informations dues à l'équarrissage des bois et au retrait des écorces, autant pour les bois monumentaux que pour les pieux plus anciens, n'est pas à exclure. En effet, la possibilité que la partie cambiale des bois ait été infestée (scolyte et/capricorne par exemple) reste une donnée fragile à obtenir. Les bois ne sont pas forcément sains au départ (arbres et stockage) mais pour ces éléments en bois, c'est une information impossible à avoir.

Pour les bois qui seraient réellement sains, plusieurs raisons convergent pour expliquer leur préservation face aux insectes xylophages. Les bois étant immergés, l'eau protège les pièces des attaques de xylophages terrestres. Cependant, ils ne sont pas protégés des attaques aquatiques du type Teredinidae ou *Limnoria*, comme elles ont pu être observées pour des attaques actuelles. Ainsi, les vers xylophages aquatiques auraient également pu infester les bois lors de leur utilisation au cours du Ier s. apr. J.-C. En observant les bois, parmi les 583 pieux et les piquets, 199 d'entre eux ont conservé leur écorce plus ou moins entièrement, soit environ 34 %. Cette dernière, pour les insectes xylophages terrestres est un véritable habitat privilégié. Or, elle semble protéger efficacement le bois lorsque celui-ci est immergé[557]. Comment expliquer que les autres bois n'ont aucune trace d'infestation aquatique ? Étaient-ils plus enfoncés

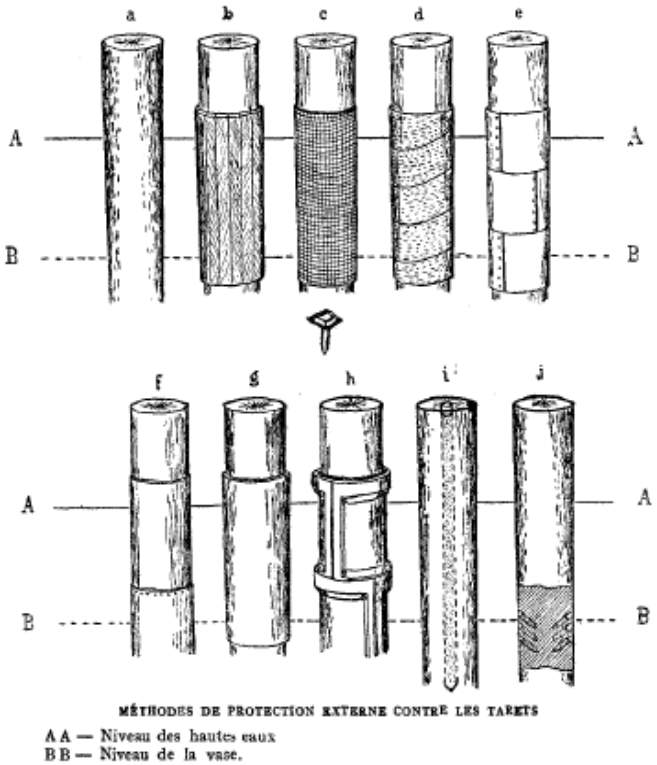


FIGURE 162 - Schéma de poteaux et divers revêtements - **a.** Écorce ; **b.** Revêtement végétal ; **c. e. et f.** Revêtement métallique ; **d.** enduit ; **g. h. i.** et **j.** Ciment, tuyau et poterie, tirée de Ministère de l'agriculture 1933, p. 91.

[556] F. ÉPAUD, communication orale.
[557] Ministère de l'agriculture 1933.

dans les sables ?[558] Il peut être supposé un éventuel traitement ou protection du bois : par application d'enduit par exemple, revêtement métallique ou végétal (FIGURE 162). Toutefois, cela reste à confirmer en testant par des analyses chimiques. Vue la qualité de conservation des vestiges, les tissus[559] en lien avec les bois auraient été retrouvés, de même que de la poix et un enduit collant.

4. 2000 ans plus tard : l'attractivité des bois toujours active

Des précautions ont été prises pour protéger les bois entre deux campagnes de fouille : remise en eau et badigeonnage de certaines pièces avec de l'argile. Malgré tout, des xylophages aquatiques actuels ont réussi à accéder à leur source de nourriture et d'abri. Cet état de fait démontre que le bois, même âgé de 2000 ans, est toujours attractif, ce qui peut poser des problèmes de conservation et de logistique au cours de la fouille et des études post-fouille.

[558] Hypothèse à vérifier avec la géomorphologie, RFO à paraître.
[559] Étude réalisée par D. GARMI, à paraître.

V. LES PLANCHERS ET BOIS OUVRÉS CARBONISÉS DE L'ÎLOT CAMELIN, FRÉJUS (27 AV. J.-C. – 50 APR. J.-C.)

A. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES : PRÉSENTATIONS DES ÉCHANTILLONS

Le site de l'îlot Camelin, fouillé en 2013[560], a fourni un total de 13 structures à caractère architectural, analysées dans le cadre de ce dossier. Ces structures, provenant de la phase d'occupation 2b (première moitié du Ier s. apr. J.-C.) (FIGURE 163), correspondent à 91 planches, planchettes, buchettes ou poutres (TABLEAU 156).

FIGURE 163 - Plan général des vestiges pour la phase 2b, SAPVF.

Au cours de la fouille, chacune des structures, plancher ou ensemble carbonisé, a été mesurée dans son intégralité. De plus, les dimensions de chaque élément de bois composant cette même structure ont également été enregistrées. Ces observations, plus affinées que

[560] Le détail de la présentation du site archéologique se trouve Chapitre III, page 135.

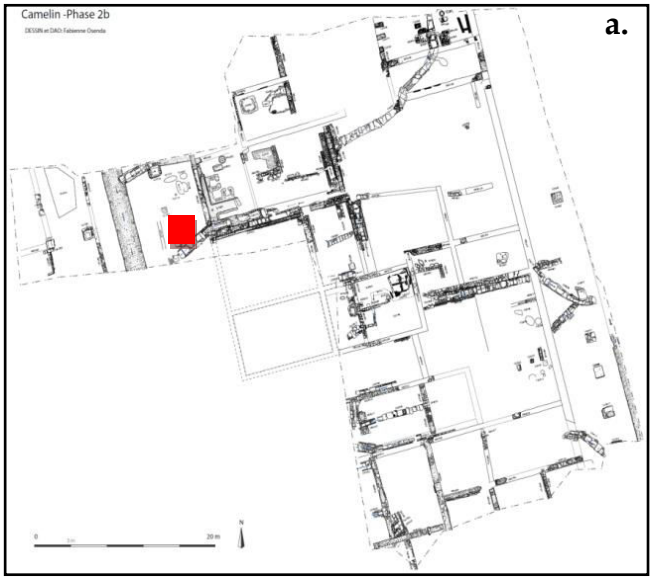
celles habituellement faites, conduisent à proposer une identification plus précise de la fonction originelle du bois lors de l'interprétation[561].

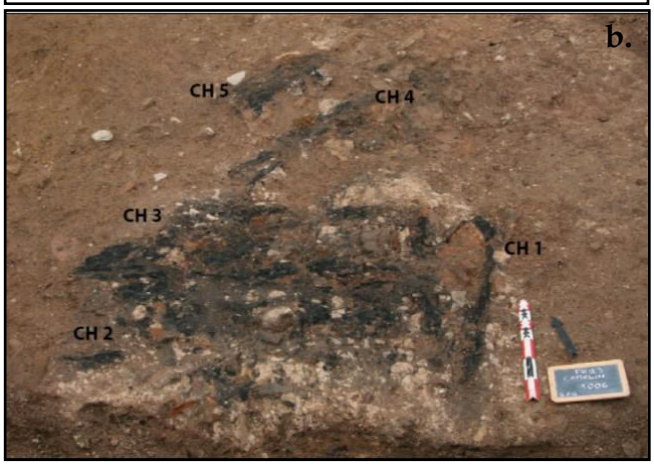
N° plvt	Type	Zone	Sect.	US/Fait	Type d'échantillonnage	Forme	Volume
6	anthraco	1	-	US 1006	total	7 sacs	25-30 L
7	anthraco	1	-	US 1078	partiel	5 sacs	15 L
17	anthraco	3	J	US 3229	échantillon	16 sacs	32 L
19	anthraco	3	C	US 3248	total	1 sac	2 L
21	anthraco	3	B	US 3007	total	10 sacs	70 L
30	anthraco, carpo	3	C	US 3329	total	3 sacs	12 L
44	anthraco	3	D	US 3021	total	1 sac	10 L
59	anthraco	3	D	US 3495	total	12 sacs	70 L
60	anthraco	3	F	US 3527	total	5 sacs	30 L
96	anthraco	3	U	US 3766	total	3 sacs	12 L
100	anthraco	3	U	US 3775	carroyage	33 sacs	40 L
119	anthraco	3	B	US 3585	total	3 sacs	2/3 L
122	anthraco	3	B	US 3969	total	1 sac	2/3 L

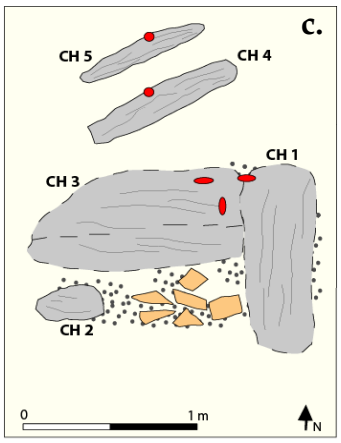
TABLEAU 156 - Liste des structures en bois carbonisé analysées.

1. US 1006

Il s'agit d'un épandage de charbons correspondant au minimum à cinq pièces de bois distinctes. L'ensemble des éléments en bois mesure au total 1,70 m de largeur (est-ouest) pour 2,60 m de longueur (nord-sud). Les limites de deux des cinq éléments prélevés restent floues (CH 1 et CH 3) ; leurs dimensions sont donc à considérer prudemment et comme minimales (FIGURE 164 ; TABLEAU 157).







Légende

Bois carbonisé
Mortier
Métal
Tuile

FIGURE 164 - a. Localisation de la structure. **b.** US 1006 avec localisation des éléments individualisés, cl. SAPVF. **c.** Schéma de la structure 1006.

[561] *Cf.* page 359.

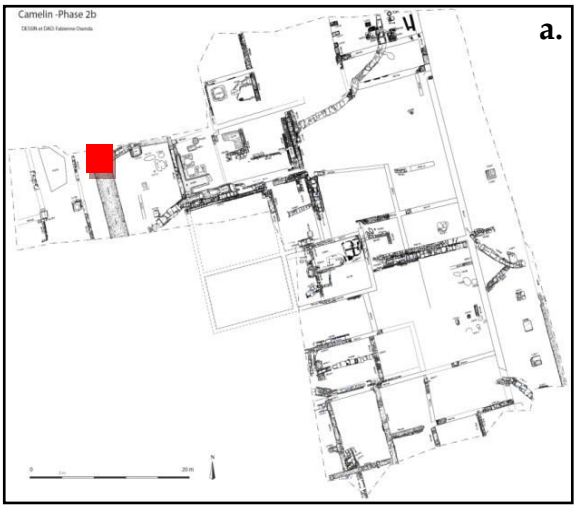
La pièce CH 1 est orientée nord-sud, tandis que CH 2 et CH 3 sont parallèles et orientées est-ouest. Ces trois éléments reposent sur du mortier et sont mêlés avec des petits morceaux de tuiles et de blocs. Enfin, CH 4 et CH 5 sont parallèles et plus éloignées au nord du reste de la structure. On remarque la présence de quelques clous en place fichés dans le bois, indices d'une liaison entre chaque élément, et plus particulièrement entre CH 1 et CH 3. En somme, il s'agirait de planches fines ou éventuellement d'une bûche (CH 1).

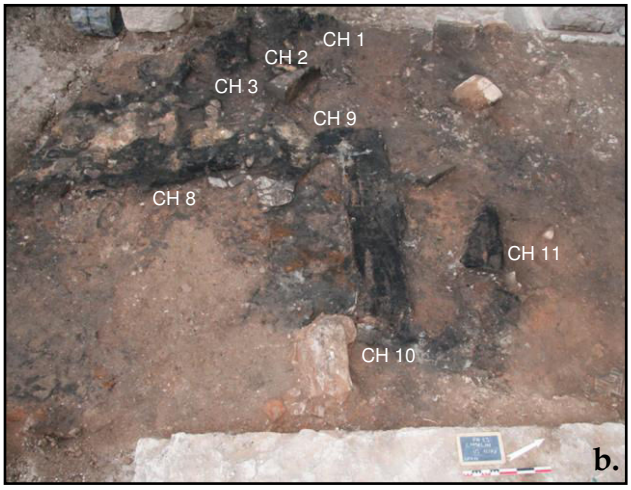
	Longueur	Largeur	Épaisseur
CH 1	90	40	1
CH 2	30	18	2
CH 3	90	50	2
CH 4	90	10	0,5
CH 5	60	30	1

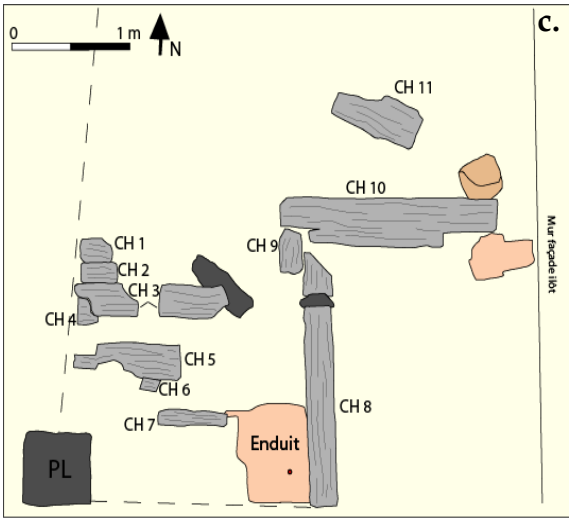
TABLEAU 157 - Dimensions, en cm, des éléments carbonisés composant la structure 1006.

2. US 1078

L'US 1078 est un niveau charbonneux caractérisé par des restes de pièces équarries et de pièces fines carbonisées liées entre elles par des clous, des amas de mortier, des enduits peints et de quelques blocs équarris de forme rectangulaire (éléments d'architecture) (FIGURE 165). Les dix pièces de bois composant cette structure forment un ensemble de 3,60 m (est-ouest) sur 3,10 m (nord-sud). Les pièces CH 1 à CH 7 sont parallèles les unes aux autres, les quatre premières sont même accolées.







Légende

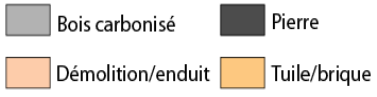


FIGURE 165 - **a.** Localisation de l'US 1078. **b.** US 1078 avec localisation des éléments individualisés, cl. SAPVF, 2013. **c.** Schéma de l'US 1078, D.A.O. F. OZENDA, ajouts M. TORITI, 2014.

Perpendiculairement et à environ 50 cm plus à l'ouest, on observe une longue pièce équarrie (CH 8) de 1,78 m de long. Dans son prolongement, CH 9 semble se lier avec un autre élément de même longueur (CH 10) filant vers l'ouest (TABLEAU 158).

	Longueur	Largeur	Epaisseur
CH 1	28	15	2
CH 2	33	12	3
CH 3	126	25	1
CH 4	21	22	2
CH 5	88	26	2
CH 6	10	8	1
CH 7	58	16	3
CH 8	178	24	1
CH 9	30	20	2
CH 10	180	30	2

TABLEAU 158 - Dimensions, en cm, des éléments de la structure 1078.

3. US 3007

Cette unité stratigraphique, située dans le secteur B (FIGURE 166 a), prise dans un niveau de démolition, présente une structure en bois carbonisé composée de dix pièces de bois toutes reliées par des clous à section carrée en place (FIGURE 166 b). La lisibilité de la structure se fait sur deux niveaux d'éléments en bois : trois bûches de même longueur, accolées et parallèles, une petite pièce de bois posée perpendiculairement sur le dessus de deux des trois bûches, puis deux autres pièces décalées dont une bûche à l'oblique et une planche plus large à la perpendiculaire à l'extrémité est (FIGURE 166 c). Sur un niveau inférieur, on observe trois petites planches parallèles entre elles mais perpendiculaires aux éléments supérieurs, ainsi qu'une autre planche à l'oblique sur la partie nord (FIGURE 166 d).

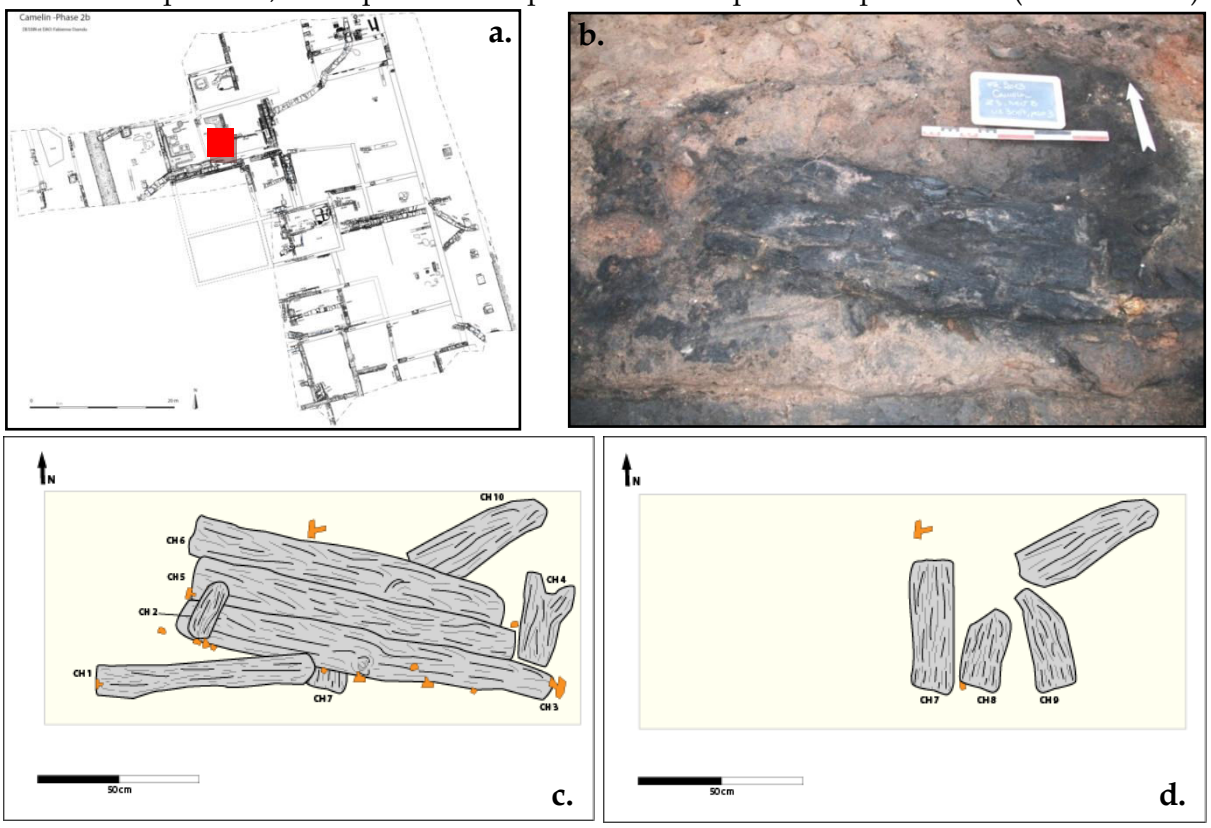


FIGURE 166 - a. Localisation de l'US 3007. **b.** Structure 3007, cl. M. TORITI, secteur B, 2013. Plans de la structure 3007 avec localisation des éléments en bois carbonisés individualisés et clous. **c.** Niveau 1 : CH 1 à CH 6 correspondants aux pièces de bois supérieures. **d.** Niveau 2 : CH 7 à CH 10 correspondants au soubassement en bois de la structure.

Au total, la structure 3007 fait 1,57 m de long sur 66 cm de largeur (nord-sud) et 18 cm d'épaisseur au minimum (TABLEAU 159).

	Longueur	Largeur	Épaisseur
CH 1	61	12	5
CH 2	18	8	2
CH 3	100	18	15
CH 4	25	10	5
CH 5	95	14	11
CH 6	96	12	10
CH 7	42	13	3
CH 8	26	15	2
CH 9	31	19	2
CH 10	44	26	3

TABLEAU 159 - Dimensions, en cm, des éléments de la structure 3007.

4. US 3021

L'US 3021 (secteur D, au nord-est du site) est une couche limoneuse orangée avec de nombreux matériaux de démolition rubéfiés (briques d'adobes, des cailloutis, du mortier de chaux, des fragments de béton de tuileau et des enduits peints). Une bûche isolée de 44 cm de longueur sur 12 cm de large environ, y a été mise au jour et prélevée (TABLEAU 160).

Dimensions		
Longueur	**Largeur**	**Epaisseur**
44 cm	10-12 cm	2-12 cm

TABLEAU 160 - Dimensions de la bûche issue de l'US 3021, Ilot Camelin, 2013.

5. US 3229

Située dans le secteur J, l'US 3229 est une couche de destruction argilo-limoneuse noire très charbonneuse qui apparaît en poche au sein de l'US 3230 à la surface du sol SL 3008. À la suite d'une fouille par carroyage, seize prélèvements ont été identifiés et effectués, concernant des planches ou des traces charbonneuses éparses (FIGURE 167).

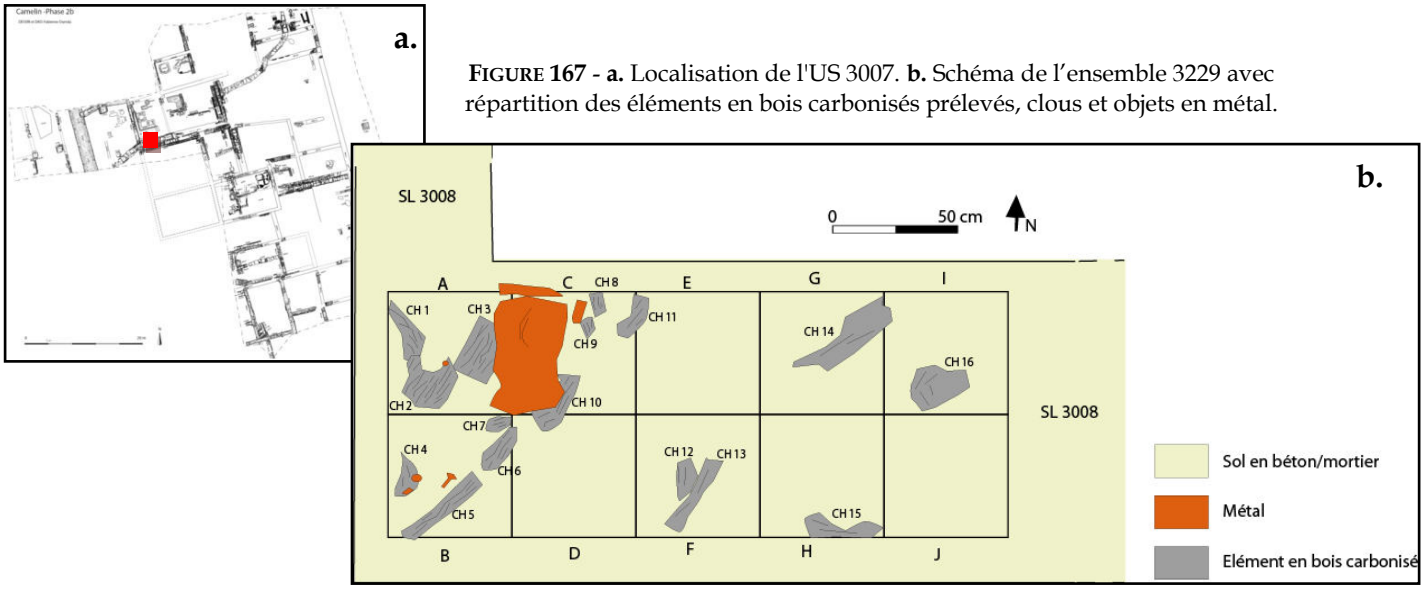


FIGURE 167 - a. Localisation de l'US 3007. **b.** Schéma de l'ensemble 3229 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous et objets en métal.

6. US 3248

L'US 3248 est une couche argilo-limoneuse orangée avec des fragments de briques crues rubéfiées et des inclusions de mortier blanc, située dans la partie nord du secteur C. Dans ce niveau, une planche carbonisée de 56 cm de long sur environ 20 cm de largeur, a été prélevée au-dessus de la meule ML 3252 et possède un clou fiché perpendiculairement au sens du fil du bois (TABLEAU 161).

Dimensions		
Longueur	**Largeur**	**Epaisseur**
56 cm	19,8 cm	2,6 cm

TABLEAU 161 - Dimensions de la planche issue de l'US 3248.

7. US 3329

Il s'agit d'une couche de démolition de structures incendiées, avec quelques clous et quelques enduits peints épars, localisée entre le mur MR 3002 à l'ouest et le mur d'adobe rubéfié MR 3354 au sud et la tranchée TR 3265 au nord. Quatre planches et une bûche (CH 5) aux limites floues, ont été prélevées, formant au total une structure de 1,10 m de long (nord-sud) sur 1 m de large (est-ouest). CH 1 et CH 3 appartiendraient peut-être à la même pièce de bois et sont parallèles à CH 2. L'élément CH 4 est au-dessus de CH 3 et perpendiculaire. Enfin, CH 5, plus au nord, est parallèle à CH 1 et CH 3 (FIGURE 168).

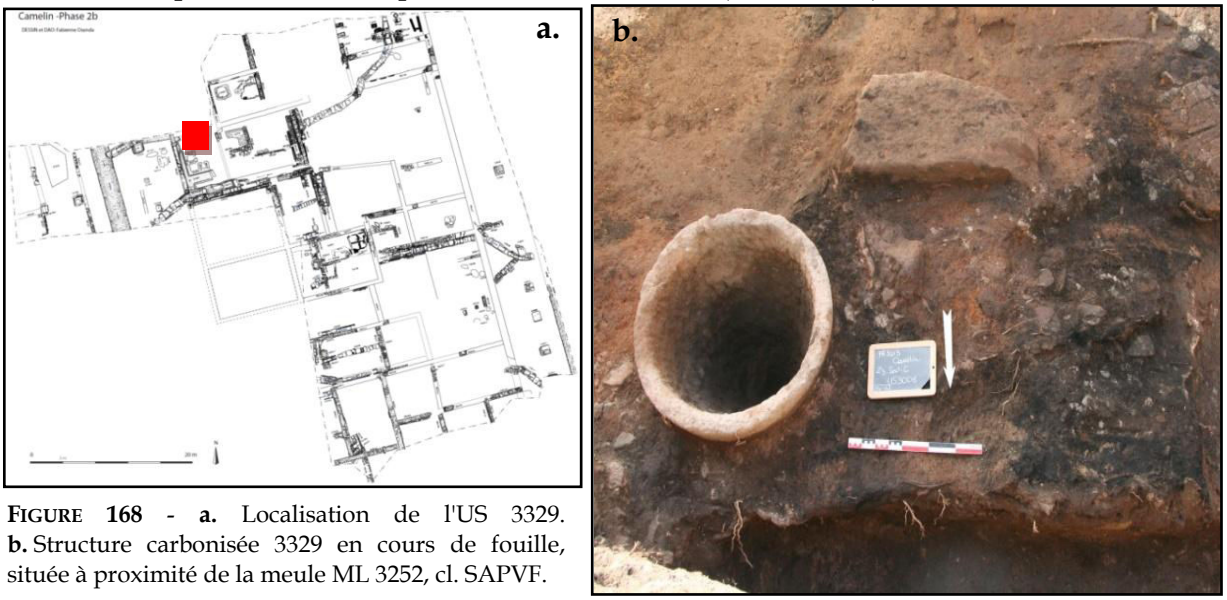


FIGURE 168 - **a.** Localisation de l'US 3329. **b.** Structure carbonisée 3329 en cours de fouille, située à proximité de la meule ML 3252, cl. SAPVF.

8. US 3495

L'US 3495 est un niveau charbonneux du secteur D (FIGURE 169 a), composé de 10 pièces de bois carbonisées conservées sur une longueur totale de 2,10 m selon un axe nord-sud et sur 65 cm de largeur, notées de CH 1 à CH 10. Deux pièces de bois, CH 1 et CH 6, longues d'environ 2 m et large de 20 à 30 cm de long, sont parallèles et espacées de 40 cm (FIGURE 169 b). Sur la plus grande, CH 1, trois clous sont associés et une partie semble surcreusée (FIGURE

169 c). Sur ces poutres reposent les autres pièces de bois plus petites, de forme oblongue, variant entre 15 et 50 cm de longueur sur 6 à 10 cm de largeur (TABLEAU 162).

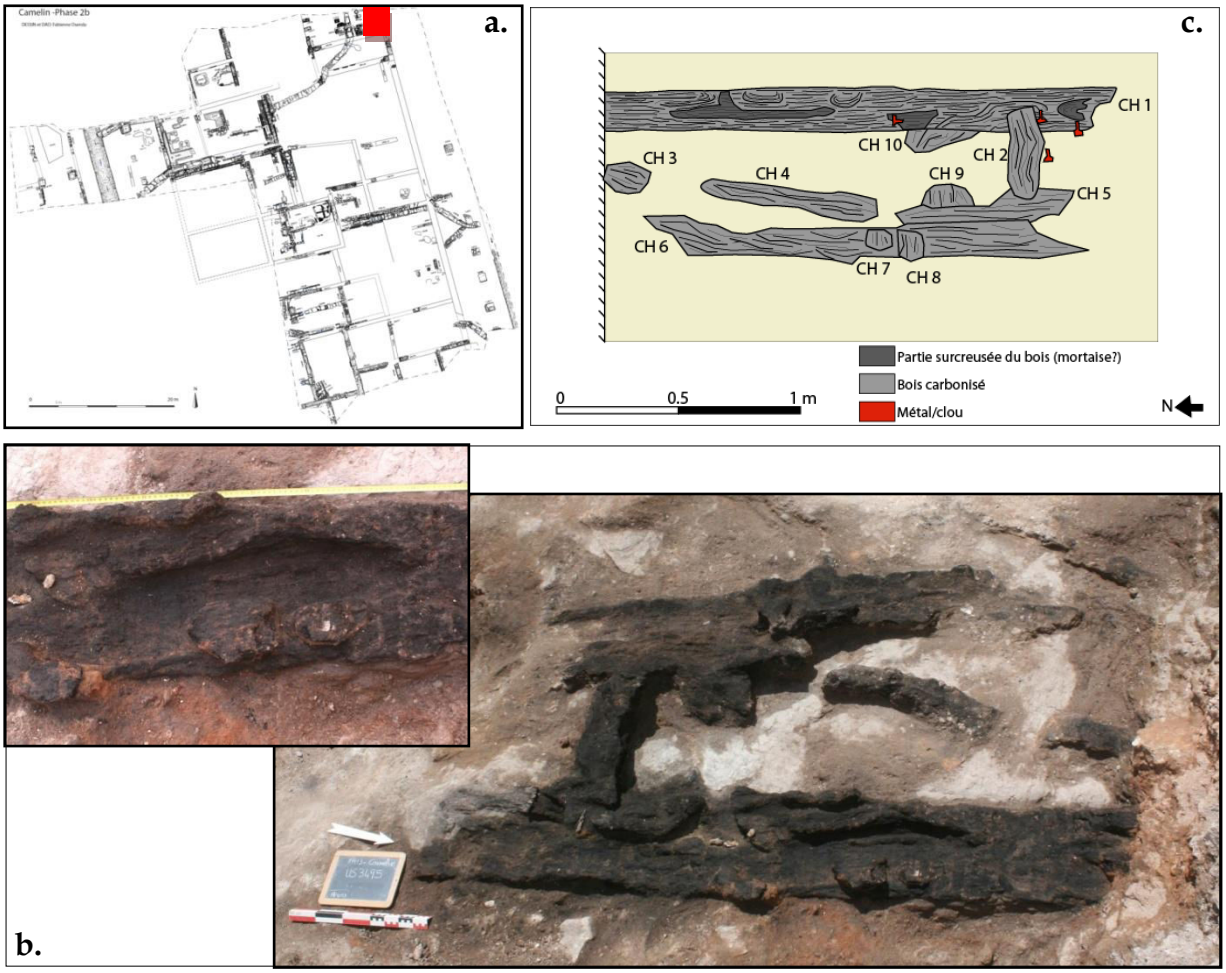


FIGURE 169 - a. Localisation de l'US 3495. **b.** Ensemble de 3495 vue de l'ouest ; détail d'une partie de bois carbonisé surcreusée ; cl. SAPVF. **c.** Schéma de l'ensemble 3495 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous.

	Longueur	Largeur	Epaisseur
CH1	214	29	15
CH2	42	16	10
CH3	29	9	5
CH4	53	9	3
CH5	79	8	3
CH6	180	20	12
CH7	17	9	1
CH8	17	10	1
CH9	23	16	1

TABLEAU 162 – Dimensions, en cm, des éléments en bois carbonisés composant la structure 3495.

9. US 3527

Il s'agit d'un ensemble de quatre pièces de bois carbonisées conservées selon un axe nord-sud. Trois pièces de bois, des poutres, longues d'environ 1 m à 1,50 m et large de 20 à 30 cm de long, sont parallèles et espacées de 15 cm. La dernière petite pièce, plutôt une planche, est

plus isolée à l'ouest et ses fils sont perpendiculaires aux poutres voisines. Cette structure semble se prolonger au nord dans le secteur D (US 3495) et définit un aménagement conservé sur une longueur totale de 5 m environ (FIGURE 170, TABLEAU 163).

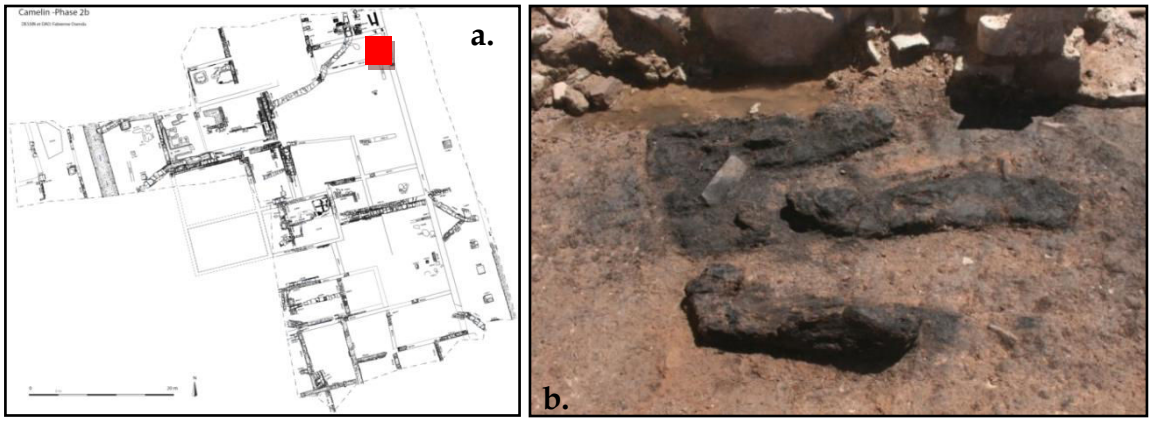


FIGURE 170 - a. Localisation de l'US 3527. **b.** Structure carbonisée 3527 en cours de fouille, cl. SAPVF. **c.** Schéma de l'ensemble 3527 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous.

	Longueur	Largeur	Épaisseur
CH1	94	23	10
CH2	142	22	8
CH3	108	26	8
CH4	22	20	3

TABLEAU 163 – Dimensions, en cm, des éléments en bois carbonisés composant la structure 3527.

10. US 3585

L'US 3585 est un niveau de sol charbonneux fonctionnant avec la cloison MR 3600 et situé au sud de cette cloison et avec le mur MR 3588 et SB 30032 et CL 30027. Trois pièces de bois y ont été mises au jour au nord de la cloison (FIGURE 171).

FIGURE 171 - a. Localisation de l'US 3585. **b.** Niveau carbonisé 3585 et la paroi en brique de terre crue 3600. Vue d'ensemble du secteur depuis le nord ; cl. SAPVF.

11. US 3766

L'US 3766 est constituée d'un élément de bois carbonisé localisé dans le remblai 3670 composé également de mortier et d'enduits peints. Il s'agit d'un morceau de poutre et de trois petites planches de bois aux limites floues (FIGURE 172).

FIGURE 172 - Ensemble du secteur U en cours de fouille avec vue sur le niveau de démolition 3670 et les éléments en bois carbonisé 3766, cl. SAPVF.

12. US 3775

Cette unité stratigraphique est celle contenant le plus d'éléments en bois carbonisé organisés en une seule et même structure. En effet, on observe un ensemble de poutres (5 minimum) et au minimum 22 planches. Les poutres forment une armature rectangulaire de 2,50 m sur 2,10 m. Les planches perpendiculaires aux trois poutres est-ouest, sont principalement dans le sens nord-sud. La structure présente peu de clous et la trame principale s'est légèrement désorganisée lors de la démolition. Une partie des enduits, ainsi que la cloison 3769, reposent dessus. Trois zones de tissus[562] ont été repérées au sein des poutres. Chaque élément de bois a été individualisé, mesuré et prélevé (TABLEAU 164, FIGURE 173).

	Longueur	Largeur	Épaisseur
CH 1	26	10	2
CH 2	13	11	1
CH 3	18	12	2
CH 4	45	8	2
CH 5	17	10	2
CH 6	12	12	1
CH 7	39	15	2
CH 8	55	28	3
CH 9	39	16	3
CH 10	20	12	2
CH 11	11	10	1
CH 12	31	12	1
CH 13	30	13	1
CH 14	18	12	2
CH 15	40	18	3
CH 17	30	12	2
CH 18	70	15	2
CH 19	74	12	1
CH 20	190	24	4
CH 21	76	10	4
CH 22	150	15	3
CH 23	176	23	6
CH 24	30	12	2
CH 25	28	20	2
CH 26	21	5	1
CH 27	160	18	5

TABLEAU 164 - Dimensions, en cm, des éléments carbonisés qui composent la structure 3775.

[562]Étude de Fabienne MÉDARD (archéologue spécialiste des textiles, Anatex).

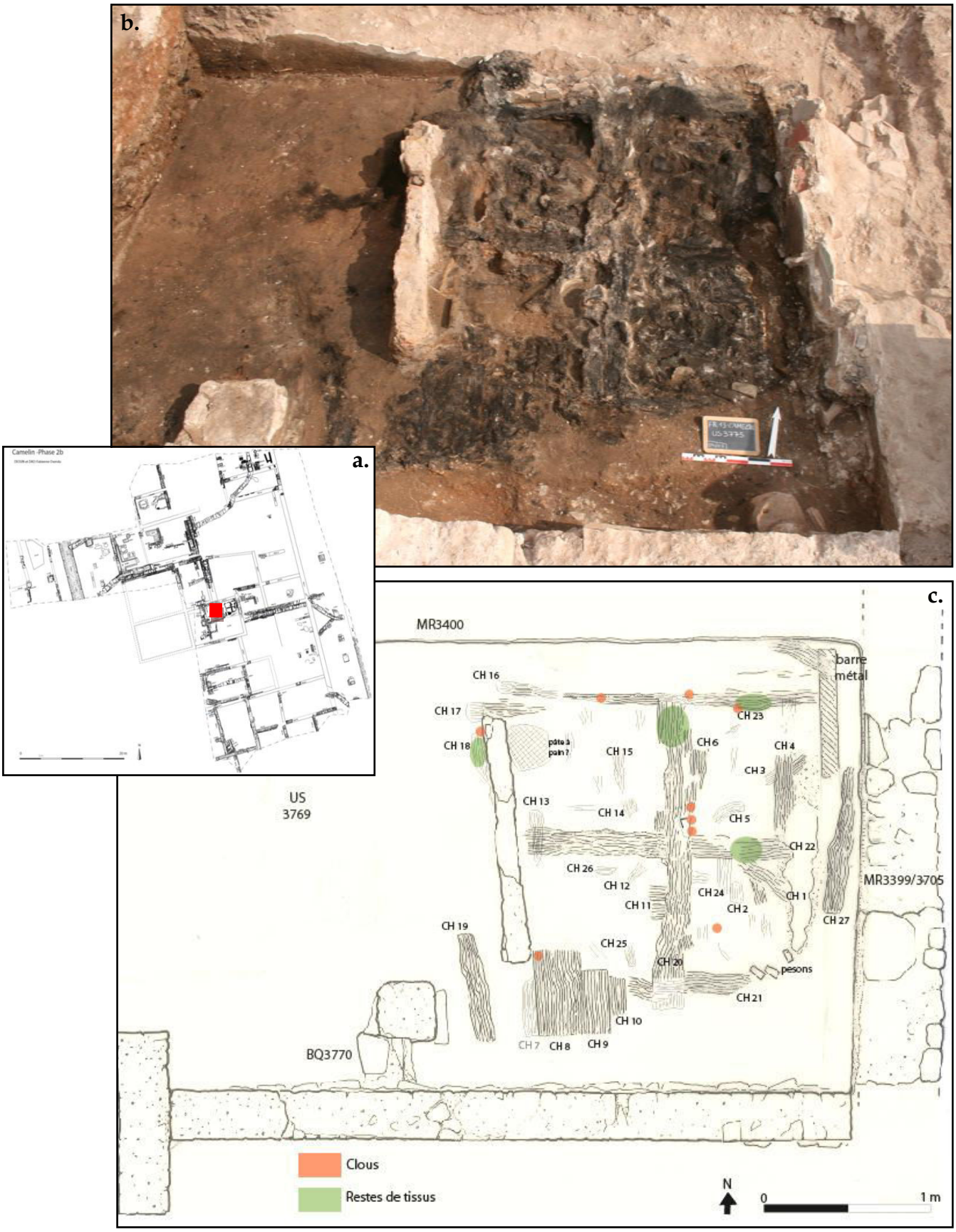


FIGURE 173 - a. Localisation de la structure 3775. **b.** Vue générale de la structure en cours de fouille, cl. SAPVF. **c.** Schéma de localisation des pièces prélevées, éléments de tissus, clous. Dessin SAPVF, ajouts M. TORITI, 2014.

13. US 3969

Il s'agit d'un solin en cailloux de grès liés à la terre large de 20 cm servant de sous-bassement à la cloison d'adobe MR 3600. Un petit élément en bois formant une trace charbonneuse, a été observé puis prélevé (FIGURE 174 ; TABLEAU 165). Le sol charbonneux 3585 précédemment décrit se situe juste au nord de ce solin. Ici, la partie sud (3969) a été différenciée.

Dimensions		
Longueur	**Largeur**	**Epaisseur**
50 cm	13 cm	1 cm

TABLEAU 165 - Dimensions de la bûche issue de l'US 3969.

FIGURE 174 - Parois 3600 et élément en bois carbonisé sur 3969, cl. SAPVF.

B. DONNÉES BRUTES INTERDISCIPLINAIRES

1. Résultats généraux

a. Les données dendrochronologiques : tests d'analyses

Le corpus de planches et de bûches carbonisées issu du site d'étude présente, selon les cas, quelques gros charbons (supérieur à 6 cm) conservés entre la fouille, le transport et leur conservation et ils présentaient à première vue, un nombre intéressant de cernes. À des fins dendrochronologiques, les fragments mesurant plus de 5-6 cm de longueur, de largeur ou d'épaisseur (l'épaisseur correspondant aux cernes[563]), et des charbons de taille moyenne présentant une importante séquence de cernes (environ 30 cernes) ont été sélectionnés. Ces quelques échantillons, dont certains ont été recollés, ont fait l'objet d'une évaluation de leur potentiel dendrologique et dendrochronologique par la mesure de leurs cernes de croissance avec l'aide de L. SHINDO[564].

Pour cette analyse, dix-sept courbes ont été réalisées à partir de vingt-trois échantillons de différentes essences ligneuses dont le hêtre, le sapin, le pin d'Alep, le pin pignon, le chêne à feuillage caduc et le chêne liège.

L'intérêt est de connaître l'âge minimum du bois utilisé dans la construction et ainsi de se faire une idée sur le type de bois qui a été choisis et travaillé : taille du tronc, débitage en planche d'un bois ou de plusieurs arbres. Ainsi, on peut avoir une idée si, pour l'îlot Camelin, les populations ont utilisé du bois plus ou moins jeune (TABLEAU 166). Pour l'heure, des courbes flottantes non datées ont été établies.

[563] Dans le cas présent, c'est ce dernier paramètre qui a été le plus souvent pris en compte.
[564] MARGUERIE, HUNOT 2007 ; MARGUERIE ET *AL.* 2011.

	Nb cerne Chêne	Nb cerne Hêtre	Nb cerne Pin d'Alep	Nb cerne Pin pignon	Nb cerne Sapin
US 1078	-	-	-	-	29
US 3007	-	-	-	-	28
US 3021	29	-	-	-	-
US 3527	-	-	15	-	-
	-	-	-	14	-
	-	-	-	21	-
	-	-	-	18	-
US 3775	-	42	-	-	-
	-	24	-	-	-
	-	-	26	-	-
	-	-	22	-	-
	-	23	-	-	-
	-	20	-	-	-
	-	24	-	-	-
	-	21	-	-	-
Moyenne totale	**29**	**25,6**	**21**	**17,7**	**28,5**

TABLEAU 166 - Nombre de cernes observées et mesurées par essence et structure.

b. L'analyse anthracologique

Pour l'ensemble des structures analysées, un total de 16 taxons sur 4049 charbons de bois, a été observé et identifié pour l'ensemble des secteurs (TABLEAU 167, FIGURE 175). Les échantillons ont bénéficié, dans la mesure du possible, d'une analyse comprenant 60 à 100 fragments chacun, afin d'obtenir des statistiques fiables[565]. Certaines structures de petites dimensions ou moyennement bien conservées ont fourni au contraire peu de charbons : c'est l'une des limites intrinsèque aux vestiges archéologiques mis au jour.

Pour ce qui est de la particularité des bois, on constate d'une manière générale qu'il y a peu de vitrification (niveau 1 à 2) ainsi que peu de calcification, sauf pour 11 fragments analysés notés « indéterminable ». Enfin, on note que les gymnospermes présentent, selon les structures, du bois de compression.

[565] Présentation anatomique de l'essence : Annexe 1, Volume II, page 4.

Taxons / US	*Abies alba*	*cf. Abies alba*	*Acer* gros rayons	*Alnus*	*Cf. Alnus*	*Buxus sempervirens*	*Erica*	*Ericaceae*	*Fagus sylvatica*	*Fraxinus*	*Juniperus*	*Pinus halepensis*	*Pinus pinea*	*Pinus halepensis/ P. pinea*	*Cf. Pinus halepensis/ P. pinea*	*Pinus*	*Pinus* type *P. sylvestris*	*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*	*Quercus* à feuillage caduc (F. C.)	*Quercus suber*	*Quercus* à feuillage persistant (F. P.)	*Quercus*	Indéterminés	Angiospermes indéterminables	Gymnospermes indéterminables	Indéterminables	TOTAL
1006	64	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	1	**240**
1078	208	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	**240**
3007	394	38	0	0	0	0	0	0	40	0	1	29	0	0	1	21	16	58	0	0	0	0	0	0	2	0	**600**
3021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	**100**
3229	6	90	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	2	**121**
3248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**60**
3329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	60	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	**99**
3495	119	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	46	0	1	0	0	0	3	6	0	0	0	17	1	**242**
3527	26	17	0	0	0	0	0	0	0	14	0	43	100	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	0	**265**
3585	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	**190**
3766	217	3	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	**320**
3775	188	2	7	49	3	2	0	0	535	8	0	221	0	418	6	0	0	30	4	54	10	4	3	11	12	5	**1572**
3969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Total fragments	**1222**	**364**	**7**	**49**	**3**	**2**	**2**	**1**	**674**	**91**	**4**	**466**	**103**	**588**	**7**	**22**	**16**	**88**	**134**	**57**	**16**	**4**	**3**	**19**	**96**	**11**	**4049**
Total en %	**30,18**	**9,00**	**0,18**	**1,22**	**0,07**	**0,05**	**0,05**	**0,02**	**16,65**	**2,25**	**0,10**	**11,51**	**2,54**	**14,52**	**0,18**	**0,54**	**0,40**	**2,17**	**3,32**	**1,42**	**0,40**	**0,10**	**0,07**	**0,47**	**2,38**	**0,28**	**100**

TABLEAU 167 - Tableau général des structures par unité stratigraphique et essences ligneuses.

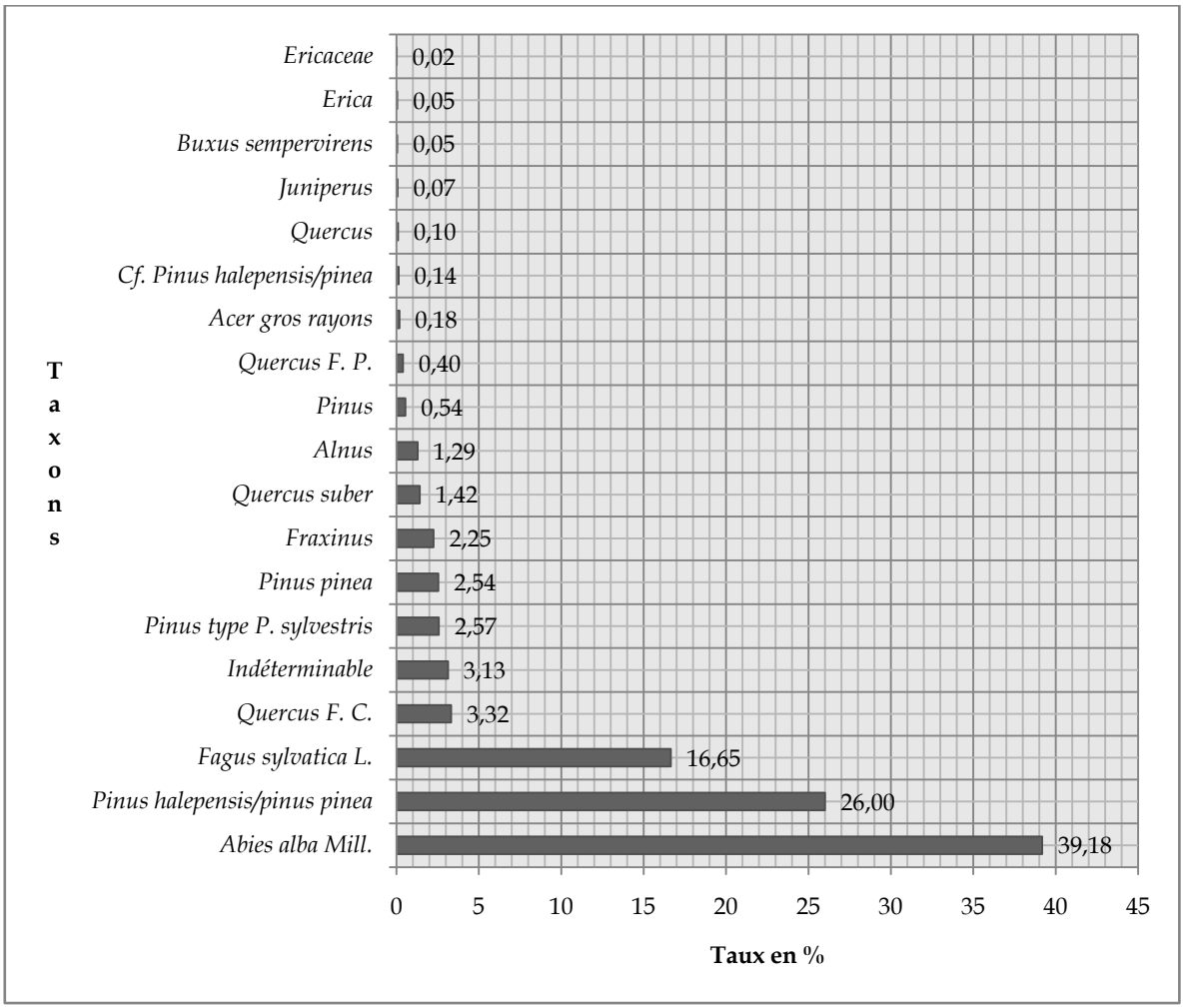


FIGURE 175 - Graphique en bâton des proportions des essences de bois ouvragé carbonisé.

- Les gymnospermes identifiées

Le sapin (*Abies alba*) arrive en première position avec un taux de 30,18 %, soit 1222 fragments sur les 4049 déterminés. On note que 364 fragments sont nommés *cf. Abies alba* Mill., ceci dû à une forte vitrification des champs de croisements.

Chez les conifères, vient ensuite le taxon pin d'Alep/pin pignon (*Pinus halepensis/P. pinea)* présent à 14,52 %. 466 fragments, soit 11,51 %, ont fourni plus de précisions anatomiques déterminant ainsi le *Pinus halepensis.* De même, 103 fragments, soit 2,54 % ont été caractérisés comme *Pinus pinea.* Les deux espèces de pins se différencient par l'absence d'indentures sur les trachéïdes transversales pour *Pinus pinea*. Seuls six fragments sur les 4049 n'ont pas donné lieu à une identification spécifique. Le taxon est donc noté *cf. Pinus halepensis/P. pinea.*

Le pin de type sylvestre excluant le pin cembro (*Pinus* type *P. sylvestris* exclu *P. cembra*) est une nouvelle essence ligneuse utilisée dans la construction : avec un taux de 2,17 % (88 fragments). De plus, quelques fragments (16) manquaient d'indentures et sont donc restés notés *Pinus type P. sylvestris.*

22 fragments montraient que peu de caractéristiques. Noté *Pinus,* ce taxon est présent à 0,54 %.

On note également la présence de trois fragments de genévrier (*Juniperus*), soit 0,07 %.

Enfin, 96 charbons étaient trop vitrifiés pour pouvoir observer correctement les caractères anatomiques. Ils ont été notés gymnospermes indéterminables.

- Les angiospermes identifiées

Le hêtre commun (*Fagus sylvatica*) est la deuxième essence ligneuse la plus représentée dans les bois de construction à Camelin avec un taux de 16,65 % pour 674 fragments.

Le deuxième type d'essence feuillue dominant est le chêne à feuillage caduc (*Quercus* à feuillage caduc (F. C.)) à 3,32 %. Pour poursuivre dans la famille des Fagacées, le chêne liège (*Quercus suber*) a été attesté avec un taux de 1,42 %. En revanche, 16 fragments sont notés *Quercus* à feuillage persistant (F. P.). Ils peuvent correspondre soit à du chêne vert/chêne kermès (*Quercus ilex/Q. coccifera*), soit à du chêne liège. Mais certains caractères sont manquants, ne permettant donc pas de trancher l'identification. De même, certains fragments (représentant 0,1 % de l'ensemble des charbons analysés) ont été nommés *Quercus*, la vitrification empêchant une meilleure reconnaissance de l'essence.

Une autre essence est présente dans les bois de construction : le frêne (*Fraxinus*) avec 2,25 %, soit 91 fragments au total.

Sur l'ensemble des échantillons, 1,22 % concerne le taxon aulne (*Alnus*).

L'érable (*Acer* (gros rayon)) est attesté à 0,18 %, soit sept fragments.

On observe également la présence de deux fragments de buis sempervirent (*Buxus sempervirens*).

Comme pour l'érable, la présence de deux fragments de bruyère (*Erica*) et d'un fragment d'*Ericaceae* sans plus de précision, est à considérer peut-être comme des bois non architecturaux.

Enfin, 19 fragments, soit 0,47 %, restent indéterminables (notés « angiospermes indéterminables ») en raison d'une vitrification trop forte. Et trois fragments restent indéterminés.

c. L'approche entomologique sur les bois ouvragés

Lors de l'analyse des échantillons au microscope, divers restes d'arthropodes (FIGURE 176), de galeries d'insectes xylophages (FIGURE 177) ainsi que de champignons (soit sous forme d'hyphes ou filaments (FIGURE 178) soit sous forme de traces indirectes (FIGURE 179)), ont été observés et comptés sur certaines structures en bois ouvragé.

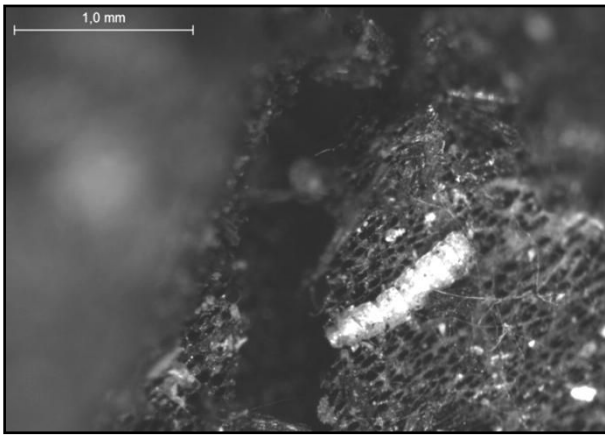


FIGURE 176 - Reste d'arthropode (mue) sur charbon de hêtre (*Fagus sylvatica*), structure 3775.

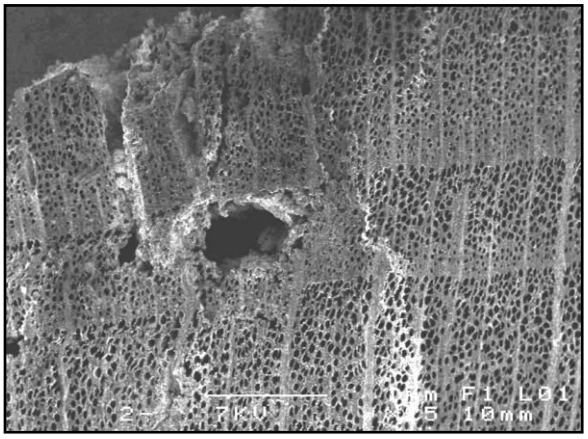


FIGURE 177 - Galerie d'insecte xylophage sur du hêtre (*Fagus sylvatica*), structure 3775, cl. CMEBA.

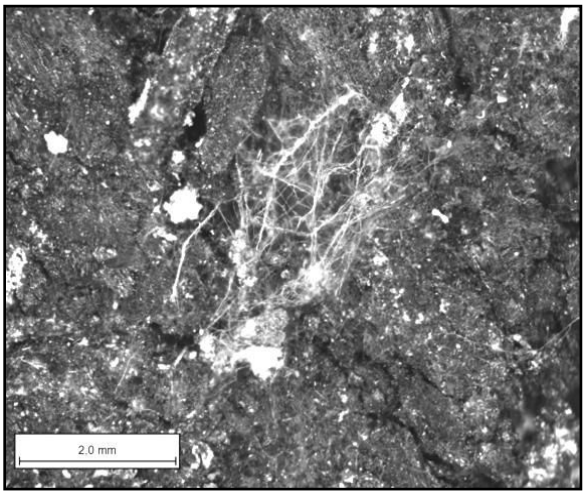


FIGURE 178 - Hyphe de champignon, filaments visibles sur la surface du charbon de bois, US 3007.

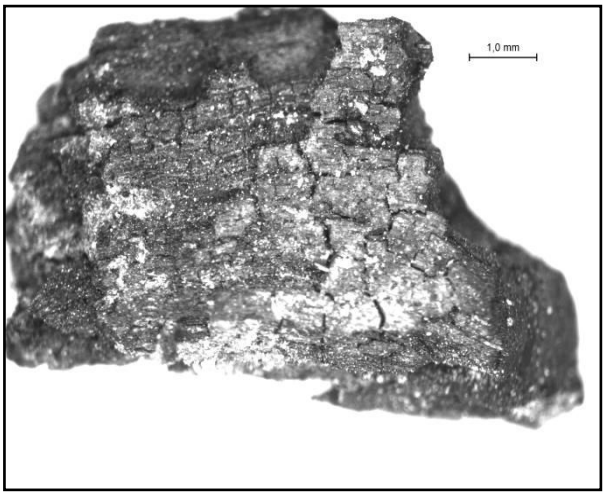


FIGURE 179 - Déformation fongique ou « craquement du bois » de type pourriture cubique, US 3775.

Au sein des 4049 charbons analysés, on dénombre 3931 galeries d'insectes xylophages présentes sur 1511 charbons. Ces charbons infestés représentent donc 37,32 % de l'ensemble des charbons observés. Le nombre de fragments où des arthropodes et des déformations fongiques ont été observés représente respectivement 0,6 % et 2,22 % de l'ensemble. Enfin, le nombre de fragments comprenant des hyphes de champignons avoisine les 14,2 % (TABLEAU 168). En particulier dans le cas de l'îlot Camelin, la proportion de charbon présentant des traces taphonomiques (hyphes et arthropodes) et archéologiques (galeries, pourriture cubique), n'est pas réellement déterminable en raison de l'accumulation de ces faits sur les même fragments. C'est d'ailleurs le même cas de figure pour les proportions de charbons comprenant des galeries et qui comprennent également des traces de pourriture cubique. Pour une meilleure pertinence, les proportions ne sont donc pas ajoutées. Ce qui peut être dit, c'est que les infestations taphonomiques concernent un total de 14,65 %[566].

[566] Les arthropodes et les hyphes n'ont pas été observés sur les mêmes fragments.

US	Nb de charbons analysés	Nb de fragments avec arthropodes	Nb de fragments avec hyphes de champignons	Nb de fragments présentant une déformation fongique	Nb de fragments présentant des galeries	Nb total de galeries	Essence(s) infestée(s)
US 1006	240	0	0	0	1	2	sapin
US 1078	240	3	5	0	59	89	sapin
US 3007	600	10	444	25	556	1647	sapin, pin sylvestre, pin d'Alep
US 3021	100	0	0	0	0	0	-
US 3229	121	0	0	0	0	0	-
US 3248	60	0	0	0	0	0	-
US 3329	99	0	85	0	0	0	-
US 3495	242	2	2	52	146	1175	sapin, pin d'Alep
US 3527	265	2	2	0	98	171	pin d'Alep/pin pignon
US 3585	190	0	0	0	0	0	-
US 3766	320	4	5	0	88	94	sapin, hêtre
US 3775	1572	12	25	13	553	753	sapin, pin d'Alep, hêtre
US 3969	0	0	0	0	0	0	-
TOTAL	**4049**	**25**	**568**	**90**	**1511**	**3931**	**-**
%	**100**	**0,62**	**14,03**	**2,22**	**37,32**	**-**	**-**

TABLEAU 168 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.

- Les arthropodes

Les restes d'arthropodes (non xylophages) observés correspondent, dans la plupart des cas, à des mues d'insectes récents ou à des restes de larves, notamment de la famille des scolopendres[567]. Il a également été observé des vers, œufs et autres type d'acariens. Ces derniers étaient parfois vivants et parcouraient les coupes anatomiques, fuyant la lumière du microscope et difficiles à prendre en photo (PLANCHE 29 a.).

- Les champignons

Il a été constaté deux types de traces fongiques :

- les hyphes de champignons, de couleur blanche à jaunâtre, parcourent la surface des échantillons sous la forme de filaments blancs ou légèrement orangés (FIGURE 178, *cf. supra*).

- les déformations fongiques du bois donnent un aspect rugueux voire poudreux au charbon. Ce dernier est fissuré et se délite en une multitude de petits cubes assez réguliers. Il s'agit de la trace d'un champignon lignivore de type pourriture cubique (PLANCHE 29 b).

- Les insectes xylophages

La présence d'insectes xylophages est attestée via l'observation des galeries, mais plus particulièrement par celle des vermoulures. Certaines de ces vermoulures représentent une

[567] Identifications et informations Philippe PONEL et Fabien FOHRER.

famille, voire même une espèce de xylophage distincte. Pour l'ensemble des bois ouvragés de l'îlot Camelin, l'infestation de ces derniers par deux grandes familles d'insectes xylophages est attesté (TABLEAU 169) :

- La famille la plus représentée est celle des Curculionidae et plus précisément de la sous-famille des *Cossoninae* qui comprend les charançons du bois[568] (PLANCHE 29 c et d). Ces derniers sont identifiables par leurs nombreuses galeries s'entrecroisant et par une vermoulure fine et granuleuse. Lorsque cette dernière était trop carbonisée ou fondue, l'identification demeure au rang supérieur et donc noté *cf.* Au total, les *Cossoninae* (et *cf. Cossoninae*) représentent un peu plus de 77 % des infestations des bois du site.

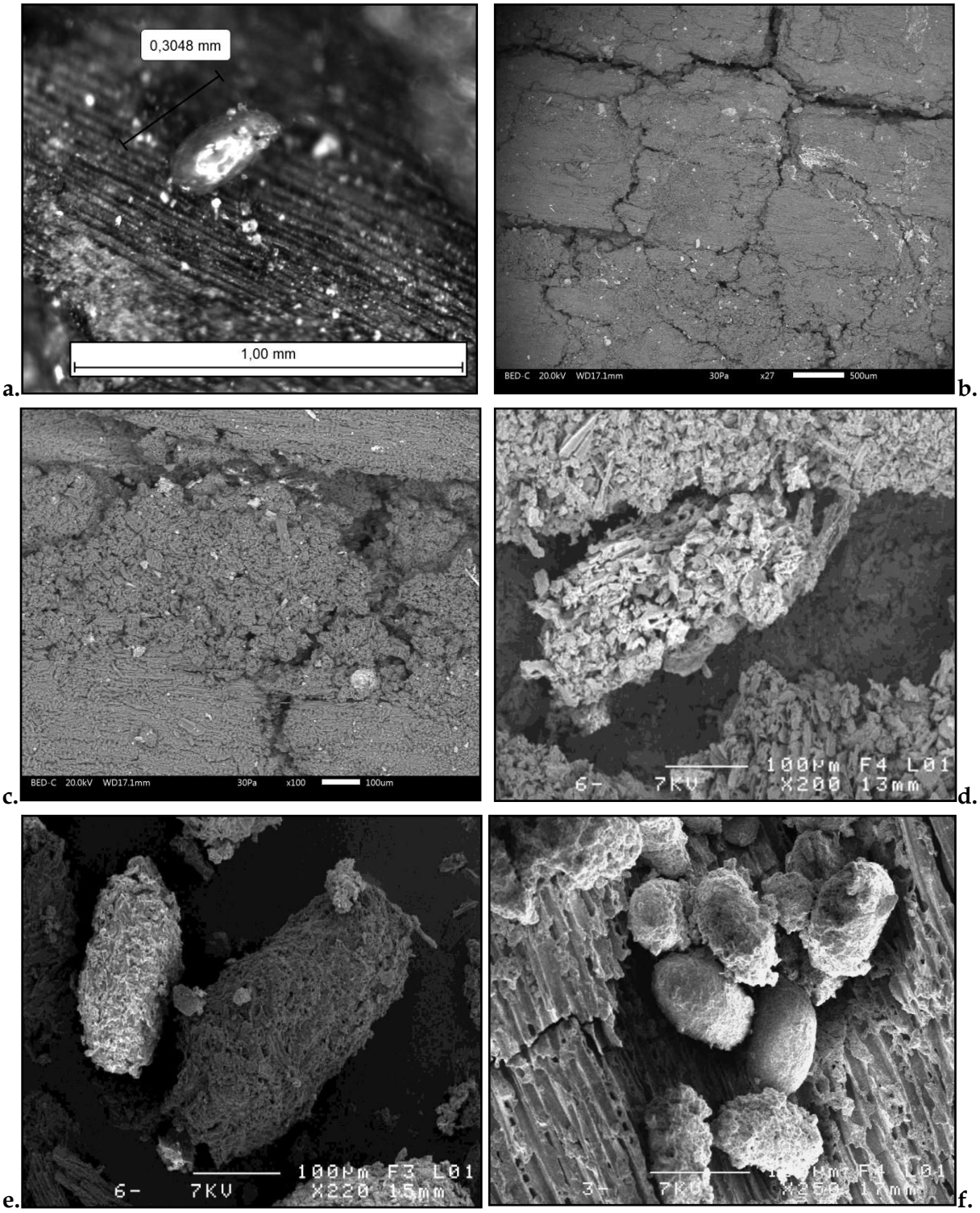
- La seconde famille attestée, au total à environ 18 %, est celle des *Ptinidae* (vrillettes) qui concernent les individus notés *Anobium punctatum* L. (la vrillette des meubles ou vrillette commune)[569] à 8,98 % et, lorsque les mesures des vermoulures permettaient d'aller plus loin, *Oligomerus* (la vrillette brune)[570] (0,51%). Certaines galeries ou vermoulures ne présentaient pas suffisamment de caractéristiques discriminantes permettant de trancher entre les différentes espèces de la famille, ces échantillons ont alors été notés « *Ptinidae* » et représentent 8,55 % (PLANCHE 29 e et f).

- Enfin, 4,38 % des échantillons regroupent des galeries atypiques, déformées par la carbonisation ou encore ne contenant pas de vermoulure particulière à l'intérieur conduisant à proposer une espèce ou une famille. Ils sont nommés « indéterminés ».

US	Nb total de chb analysés	Nb de chb présentant des galeries	Nb. Galeries	*Anobium punctatum*	*Cossoninae*	*Cf. Cossoninae*	*Oligomerus*	*Ptinidae*	Indeterminés
1006	240	1	2	0	0	0	0	0	2
1078	240	59	89	0	78	11	0	0	0
3007	600	556	1647	0	1113	525	8	0	1
3495	242	146	1175	0	1062	95	0	0	18
3527	265	98	171	0	125	41	0	0	5
3766	320	88	94	67	0	0	0	24	3
3775	1572	553	753	286	0	0	12	312	143
TOTAUX	**3479**	**1511**	**3931**	**353**	**2378**	**672**	**20**	**336**	**172**
%	**-**	**-**	**100**	**8,98**	**60,49**	**17,09**	**0,51**	**8,55**	**4,38**

TABLEAU 169 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.

[568] *Cf.* Volume III, Atlas des insectes xylophages, page 71.
[569] *Cf.* Volume III, Atlas des insectes xylophages, page 109.
[570] *Cf.* Volume III, Atlas des insectes xylophages, page 121.



a. **b.** **c.** **d.** **e.** **f.**

PLANCHE 29 - a. Exemple d'œuf d'arthropode indéterminé actuel, US 3775. **b.** Vue d'un échantillon présentant des traces de déformations fongiques de type pourriture cubique. **c.** Galerie type de *Cossoninae,* US 3495. **d.** Détail de la vermoulure type *Cossoninae*, carbonisée, US 3495. **e.** Vermoulure type *Anobium punctatum,* US 3775. **f.** Vermoulure type *Ptinidae* car les unités fusiformes sont collées par la carbonisation, US 3766.

2. Résultats bruts détaillés par structure

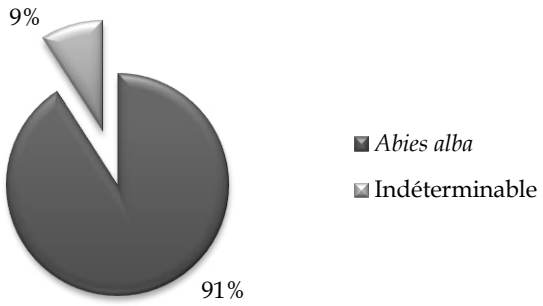
a. US 1006

- Anthracologie

Les charbons de bois de cette structure sont dans un mauvais état de conservation et n'ont finalement fourni que peu de charbons : 240 pour cinq pièces de bois. Très friables, ils sont en partie décomposés et mélangés à la terre. Sur certains échantillons (CH 2, CH 4 et CH 5), on pouvait observer que le bois n'était pas complètement carbonisé.

Cette structure est composée exclusivement de sapin (*Abies alba* Mill.) parfois noté *cf. Abies alba* pour les charbons les plus abîmés. Toutefois, 9,1 % des charbons observés sont indéterminables. La vitrification est basse : niveaux 1 et 2. La calcification est moyenne : niveaux 1 à 3. Les échantillons présentent un taux de bois de compression plutôt faible (FIGURE 180)[571].

FIGURE 180 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 1006, 2014.



- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Deux galeries indéterminables sans vermoulure ont été observées.

b. US 1078

- Anthracologie

L'ensemble des pièces de bois, poutres et planches, est en sapin : 86,7% (*Abies alba*) et 5,8% (*cf. Abies alba*). 7,5 % des charbons de bois sont restés indéterminables (FIGURE 181)[572]. Les échantillons sont dans un bon état de conservation : la carbonisation semble complète, et les fragments sont peu mélangés avec les sédiments. Les taux de vitrification et de calcification sont bas : niveaux 1 et 2, et le bois de compression est également faiblement représenté, hormis sur l'échantillon CH 1.

[571] Tableaux de détails par échantillon : n°170 à 174, Annexe 6, page 193.
[572] Tableaux de détails par échantillon : n°175 à 179, Annexe 6, page 194.

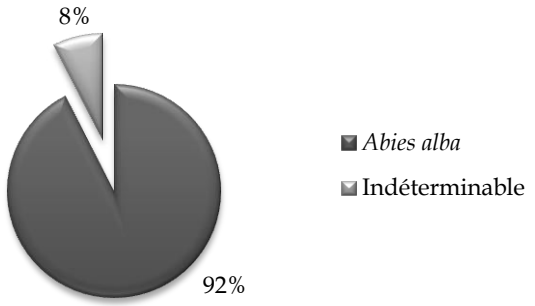


FIGURE 181 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 1078, 2014.

- Test dendrochronologique

Un échantillon de sapin, provenant de la pièce CH 8 charbon n°2, a été observé et mesuré. Il comprend 29 cernes (FIGURE 182).

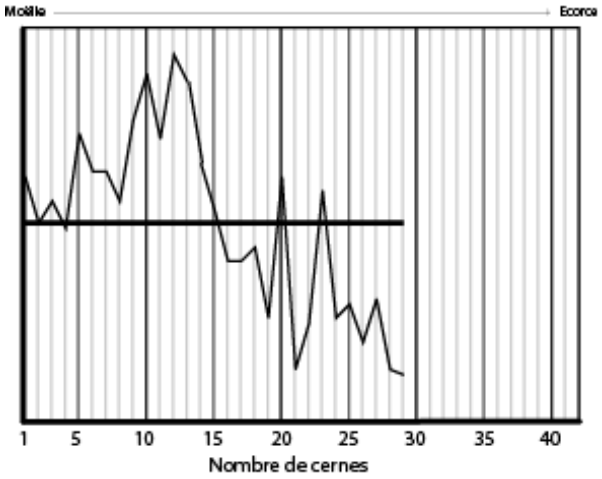


FIGURE 182 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US1078-CH8-N°2 : *Abies alba* Mill. 29 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

- Entomologie

Au sein des 240 charbons de bois analysés, 59 fragments présentent des galeries d'insectes xylophages, soit 24,6 % pour un total de 89 galeries. L'infestation se répartie sur les pièces de bois CH 1, 3, 5 et la poutre CH8 (FIGURE 183 ; FIGURE 184).

Il s'agit de galeries creusées par des insectes de la famille des *Cossoninae*.

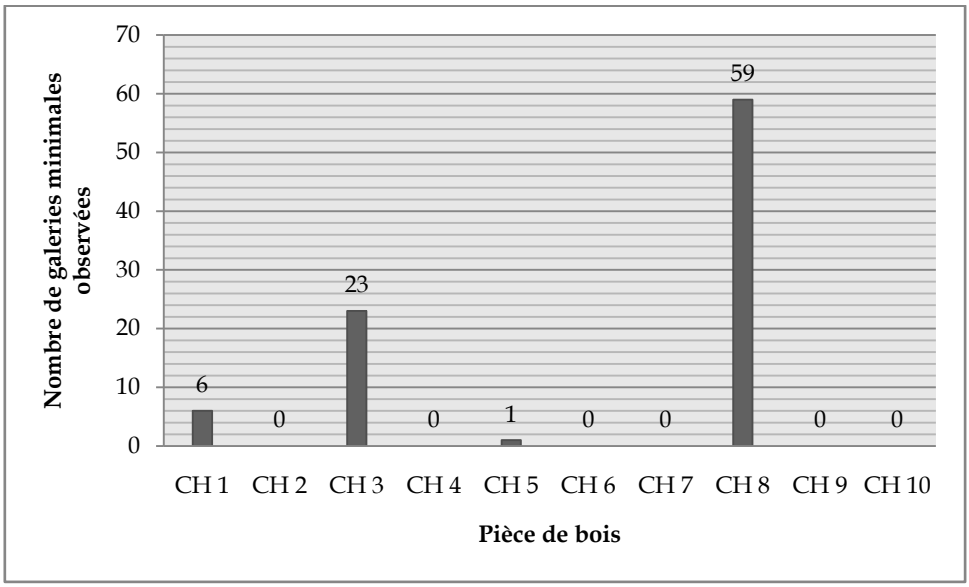
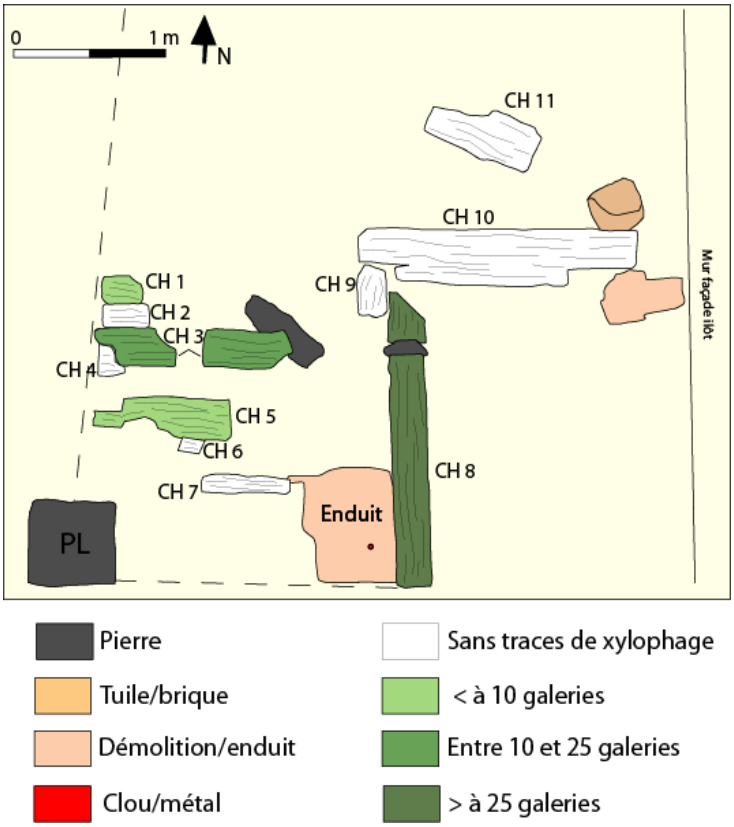


FIGURE 183 - Répartition et effectif des galeries selon les pièces de bois, US 1078.



Il a également été observé sur trois charbons des mues de *Scolopendria* ainsi que des hyphes de champignon récents sur cinq autres fragments.

FIGURE 184 - Schéma de répartition par proportion de présence des galeries sur les différents éléments en bois composant l'US 1078, DAO. M. TORITI.

c. US 3007

- Anthracologie

Les éléments en bois carbonisé de l'US 3007 sont bien délimités et très bien conservés sur environ 1 m².

Le premier niveau de pièces de bois, comme décrit plus haut, est composé de trois bûches parallèles et accolées (CH 3-5-6), d'une quatrième en décalé sur la partie sud (CH 1), d'une pièce plus floue, perpendiculaire et accolée sur la partie est (CH 4) et enfin d'un petit élément sur le dessus des trois bûches principales et perpendiculaire à elles (CH 2). Tout cet ensemble est en sapin, soit 71 % sur les 600 charbons analysés. Seul CH 2 est en pin d'Alep et représente 4,9 % des essences représentées au sein de cette structure (FIGURE 185 ; FIGURE 186 a)[573].

Le niveau inférieur des éléments en bois perpendiculaires à CH 3-5 et 6 sont d'une autre nature. En effet, les échantillons CH 7-9 et 10 sont en pin de type sylvestre avec 12,2 % tandis que CH 8 est en hêtre (6,7 %) (FIGURE 186 b). Il faut également noter que ces pièces de bois sont moins bien conservées et plus souvent mélangées aux sédiments et aux débris de destruction, sans doute en raison d'une carbonisation de moindre ampleur.

Dans l'ensemble, ces bois ont une vitrification et une calcification faibles : niveaux 1 et 2. De même, quel que soit le type de conifère, le bois de compression est faiblement représenté.

[573] Tableaux de détails par échantillon : n°180 à 189, Annexe 6, pages 195 -196.

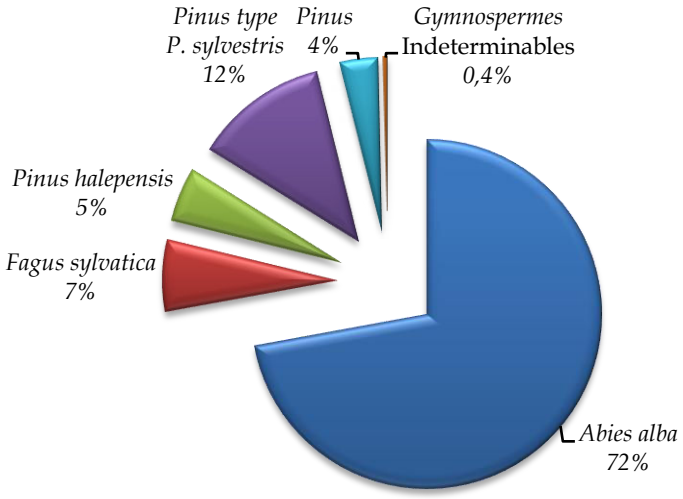


FIGURE 185 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3007.

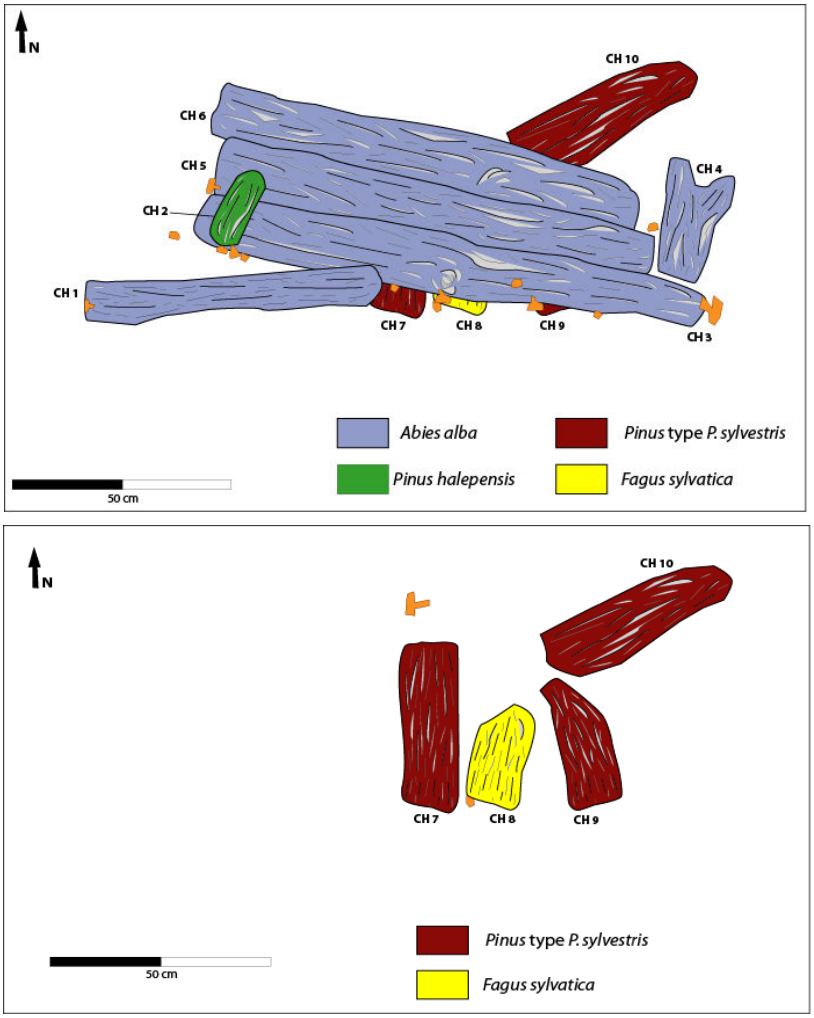


FIGURE 186 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées, DAO M. TORITI. **a.** Niveau supérieur (CH 1 à 6). **b**. Niveau inférieur (CH 7 à 10).

- Test dendrochronologique

Une moyenne de deux courbes flottantes de sapin fournissant au total 28 cernes a été réalisée à partir de la bûche CH 6 (FIGURE 187).

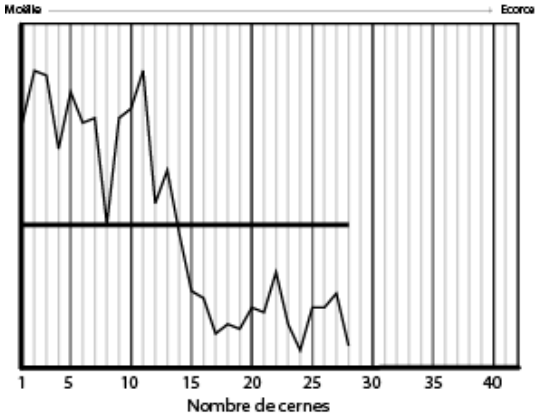


FIGURE 187 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US 3007-CH 6-N°1 et N°6: *Abies alba* Mill. Total : 28 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

- Entomologie

Parmi les 600 charbons de bois analysés, 556 fragments présentent des galeries d'insectes xylophages, soit 92,7 % pour un total de 1647 galeries. L'infestation se répartie essentiellement sur la partie supérieure de la structure : CH 1, 2, 3, 4, 5 et 6. L'échantillon CH 9 ne présente qu'une seule galerie (FIGURE 188 ; FIGURE 189 ; TABLEAU 190).

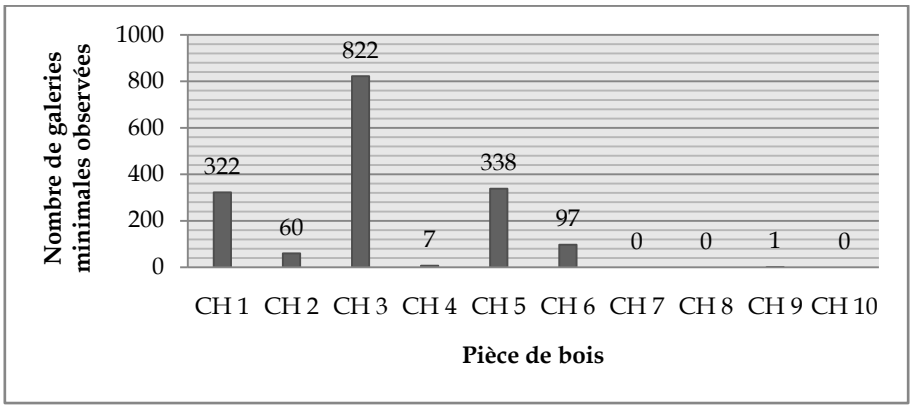


FIGURE 188 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3007.

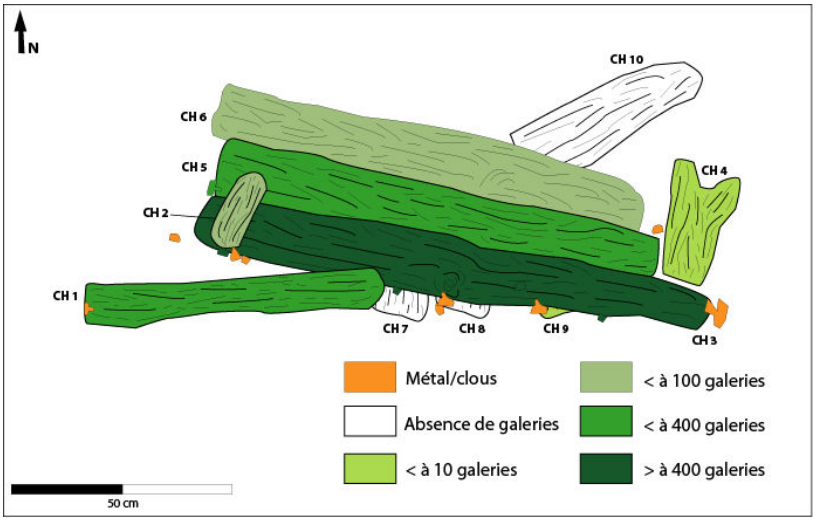


FIGURE 189 - Schéma de répartition par proportion de présence des galeries sur les différents éléments en bois composant l'US 3007, DAO. M. TORITI.

Près de 99 % des galeries ont été creusées par des insectes de la famille des charançons du bois (*Cossoninae*) (FIGURE 190 a et b). Par ailleurs, huit galeries identifiées comme de la vrillette brune (*Oligomerus*) sont présentes sur un fragment de la pièce en sapin CH 5 (FIGURE 190 c). Enfin, sept galeries demeurent notées « *Ptinidae* » en raison de l'absence de vermoulures nettes.

	Cossoninae	*Oligomerus*	*Ptinidae*	Indéterminé	TOTAL
CH 1	321	0	1	0	**322**
CH 2	60	0	0	0	**60**
CH 3	812	0	3	7	**822**
CH 4	7	0	0	0	**7**
CH 5	325	8	3	1	**338**
CH 6	97	0	0	0	**97**
CH 7	0	0	0	0	**0**
CH 8	0	0	0	0	**0**
CH 9	0	0	0	1	**1**
CH 10	0	0	0	0	**0**
TOTAL	**1622**	**8**	**7**	**8**	**1647**
%	**98,54**	**0,48**	**0,43**	**0,55**	**100**

TABLEAU 190 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3007.

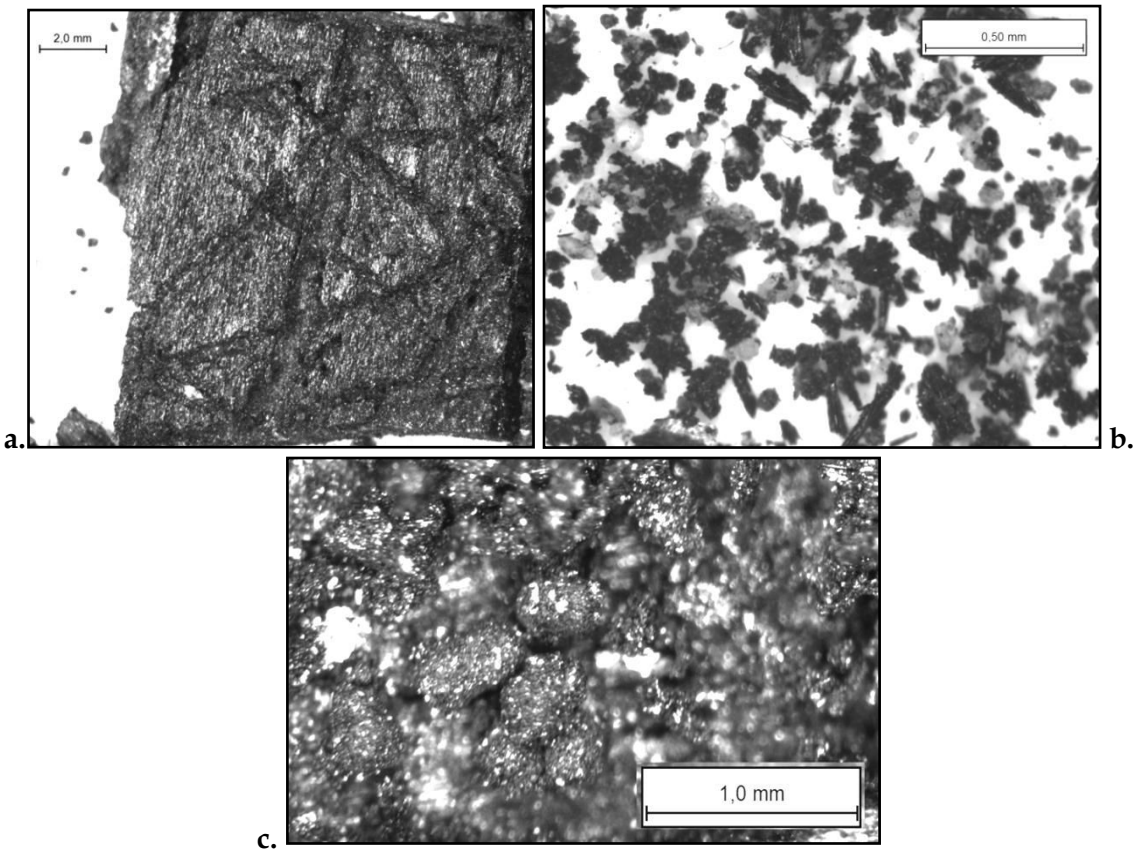


FIGURE 190 - a. Exemples de galeries typiques de *Cossoninae*, 3007 CH 1. **b.** Vermoulure hétérogène issue des galeries de type *Cossoninae*. **c.** Vermoulures fusiformes contenues dans une galerie circulaire de 3007 CH 5. Cl. M. TORITI.

Les fragments issus de CH 5, infestés par le genre *Oligomerus,* ainsi que tous les *Ptinidae* soupçonnés, ont été préalablement étudiés selon le protocole définit en CHAPITRE II de ce

travail[574] afin de déterminer l'espèce en question. Les vermoulures fusiformes (FIGURE 190 c), outre l'observation anatomique (forme de l'apex, homogénéité...), ont été mesurées puis comparées au référentiel statistique (FIGURE 191). Les tailles des vermoulures carbonisées mesurées sont projetées à proximité du nuage de point de référence « *Oligomerus* ». Ces vermoulures sont de taille trop importante pour appartenir à l'espèce des *Anobium*. De plus, leur forme bien arrondie appuie l'hypothèse qu'il s'agit bien d'*Oligomerus* et pas de *Nicobium*[575]. La distinction est claire et il n'y a pas besoin d'appliquer la marge d'erreur due à la carbonisation[576].

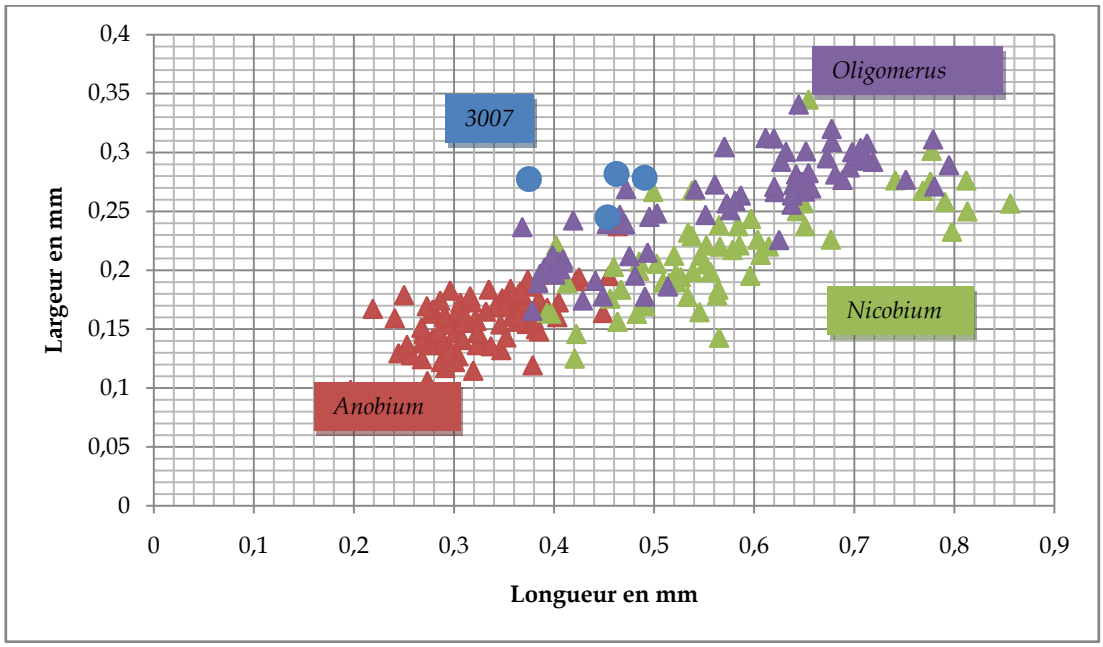


FIGURE 191 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points : référentiel ; et projection des vermoulures fusiformes observées sur 3007 CH 5 (en bleu).

Une dizaine de fragments contiennent des restes d'arthropodes de type collemboles et mues de scolopendre. Tous les fragments observés sont parcourus par des filaments blanchâtres ou hyphes de champignon, essentiellement sur les parties externes des fragments carbonisés. Enfin, 25 fragments, soit 4,16 % présentent des déformations de type pourriture cubique.

d. US 3021

- Anthracologie

La bûche 3021 (secteur D) est entièrement en chêne à feuillage caducifolié avec une analyse de 100 fragments de charbons de bois. La vitrification et la calcification sont basses : niveaux 1 et 2. Les vaisseaux du bois sont très peu touchés par les thylles[577].

[574] *Cf.* pages 110.
[575] Comparaisons en chapitre II, pages 112. La vermoulure de *Nicobium* est plus allongée.
[576] *Cf.* Chapitre II, pages 121 (expérimentation et marge d'erreur), les points se retrouveraient alors vers 0,6 en abscisse et 0,3 en ordonnée.
[577] Tableau de détails n°191, Annexe 6, page 197.

- Test dendrochronologique

Deux charbons de la bûche 3021, en chêne à feuilles caduc ont donné des cernes se recalant entre eux. La moyenne des deux échantillons fournit au final 29 cernes (FIGURE 192).

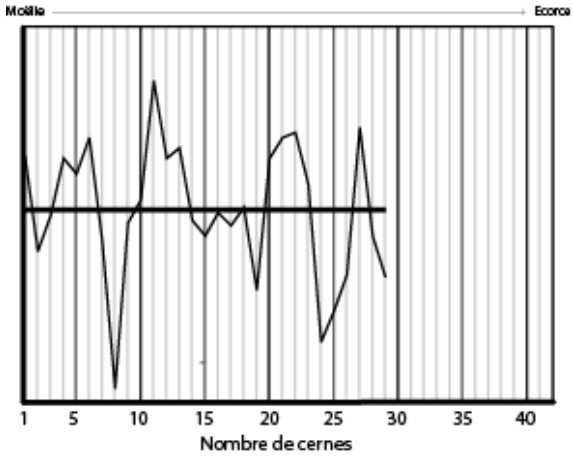


FIGURE 192 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US 3021-N°13 et N°53 : *Quercus* à feuillage caduc. Total : 29 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

e. US 3229

- Anthracologie

L'ensemble des charbons de bois est en très mauvais état de conservation : ils ne sont pas entièrement brûlés et sont mélangés à de la terre et à des fragments de briques de terre crue.

Sur les 16 prélèvements de pièces de bois, sept sont négatifs (CH 8-9-10-11-12-13-14) et les neuf autres ne fournissent que très peu de charbons (entre 7 et 20 fragments). De plus, la proportion d'indéterminables est importante[578].

CH 1 et CH 3 semblent être en sapin. CH 2, CH 4, CH 5 et CH 6 sont probablement du sapin également, avec des fragments identifiés comme *cf. Abies alba*. CH 7 est en très mauvais état, il présente seulement six fragments : trois de *Juniperus* et trois indéterminables. Enfin, CH 16 présente sept charbons : quatre Angiospermes indéterminable, un *Ericaceae* et deux *Erica*.

La vitrification est moyenne (niveaux 2 et 3) et la calcification haute (niveau 4 en majorité). Le bois de compression est faible.

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

578 Tableaux de détails par échantillon : n°192 à 199, Annexe 6, pages 197-198.

f. US 3248

- Anthracologie

Cette planche située au-dessus de la meule ML 3252 est exclusivement en frêne (100 fragments analysés). Le bois est bien conservé, la vitrification et la calcification sont très faibles[579].

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

g. US 3329

- Anthracologie

Les charbons de bois sont mal conservés, certainement parce que ces bois n'ont pas totalement subi l'action du feu.

Très peu de charbons ont été identifiables, notamment pour CH 1 qui contenait neuf fragments de frêne, les autres fragments formaient un mélange de terres et bois non totalement pyrolysés et infestés d'hyphes de champignons. Ce même mélange est retrouvé pour l'ensemble des échantillons CH 2 et 3, contenant toutefois un fragment de gymnosperme indéterminable. La planche CH 4 est plus lisible, comportant une trentaine de fragments de chêne à feuillage caducifolié avec une vitrification basse : niveaux 1 et 2, et une calcification moyenne : niveaux 2 et 3. Enfin, le prélèvement CH 5, également mieux conservé, comprend au total 60 charbons de pin d'Alep, avec les mêmes proportions et niveaux de vitrification et de calcification[580].

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage ou d'arthropode n'a été observée. En revanche, des hyphes de champignons récents sont attestés sur un peu plus de 80 fragments et plus particulièrement sur leurs parties externes.

h. US 3495

- Anthracologie

De par les traces au sol, une partie des bois composant cette structure semble ne pas avoir brûlé totalement.

[579] Tableau de détails n°200, Annexe 6, page 199.
[580] Tableaux de détails par échantillon : n°201-202, Annexe 6, page 199.

Le plus grand élément CH 1 mesurant pour rappel 2,14 m de longueur, est en bois de sapin (84 %) équarri[581]. Son prélèvement a été effectué en trois parties sectionnées, du nord au sud. La présence d'autres essences résiduelles ont été constatée sur cette poutre : chêne liège et chêne à feuillage persistant, respectivement à 3 % et 6 %, ainsi que 3 % de pin pignon et 1 % de pin d'Alep/pin pignon. Enfin, 3 % restent indéterminables.

La bûche CH 2[582], également en sapin, est perpendiculaire et située au-dessus de CH 1. Les deux pièces sont clouées ensemble. L'élément CH 3, partant sous la berme de limite de fouille, n'a pas fourni de charbon, de même que CH 7-8-9 et 10. On compte également très peu de charbons pour CH 4 qui est composé de pin d'Alep/pin pignon. CH 5 est en sapin. Enfin, CH 6 est une pièce de bois presque non brûlée en pin d'Alep/pin pignon (FIGURE 193 ; FIGURE 194).

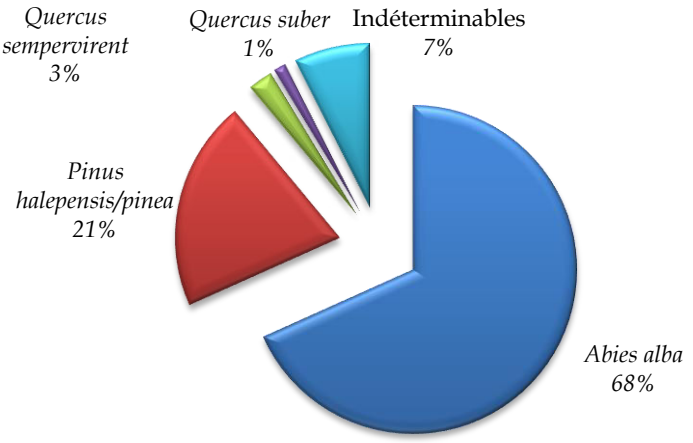


FIGURE 193 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3495.

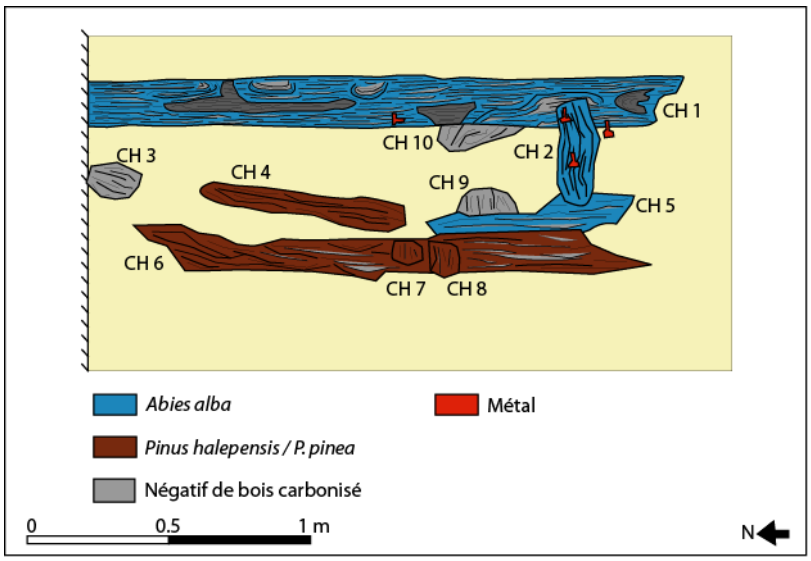


FIGURE 194 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3495, DAO M. TORITI.

Au total, pour l'ensemble de la structure, on compte principalement du sapin avec un taux de 68 % et du pin d'Alep/pin pignon (21 %) sur 242 charbons de bois analysés. Vient

[581] Tableaux de détails par échantillon, Annexe 6, page 200.
[582] Tableaux de détails par échantillon : n°203 à 207, Annexe 6, page 200.

ensuite, une proportion assez importante d'indéterminables (7 %), synonyme de mauvaise conservation et de quelques charbons soumis à une forte vitrification. Enfin, les essences rares présentes dans la structure, concernent probablement une autre structure ou sont peut-être des incidents de mélange entre deux niveaux (résiduels) : 3 % de chêne sempervirent et environ 1 % de chêne liège. La vitrification et la calcification sont d'un niveau moyen (2 et 3). Pour les gymnospermes, le bois de compression est bien visible et plutôt modéré.

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Parmi les 242 charbons de bois analysés 146 fragments présentent des galeries d'insectes xylophages, soit 60,33 % pour un total de 1175 galeries. L'infestation homogène se répartie essentiellement sur les pièces en sapin : CH 1 et 2 (FIGURE 195). Plus de 90 % des galeries ont été creusées par des insectes de la famille des charançons du bois (*Cossoninae*) (TABLEAU 208 ; PLANCHE 30).

TABLEAU 208 - Répartition et effectif des insectes xylophages identifiés, US 3495.

	Cossoninae	*Cf. Cossoninae*	Indéterminé	TOTAL
CH 1	647	30	12	**689**
CH 2	412	65	5	**482**
CH 4	0	0	1	**1**
CH 5	3	0	0	**3**
TOTAL	**1062**	**95**	**18**	**1175**
%	**90,38**	**8,09**	**1,53**	**100**

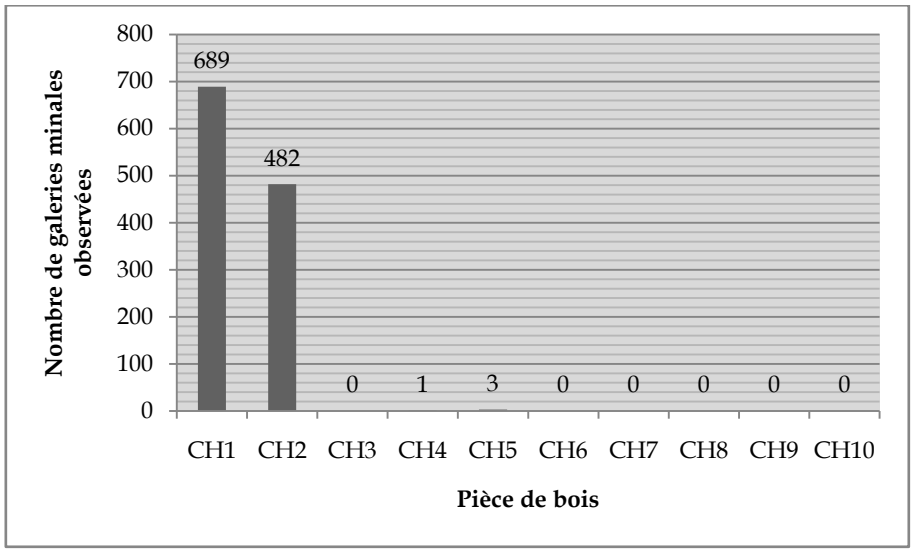
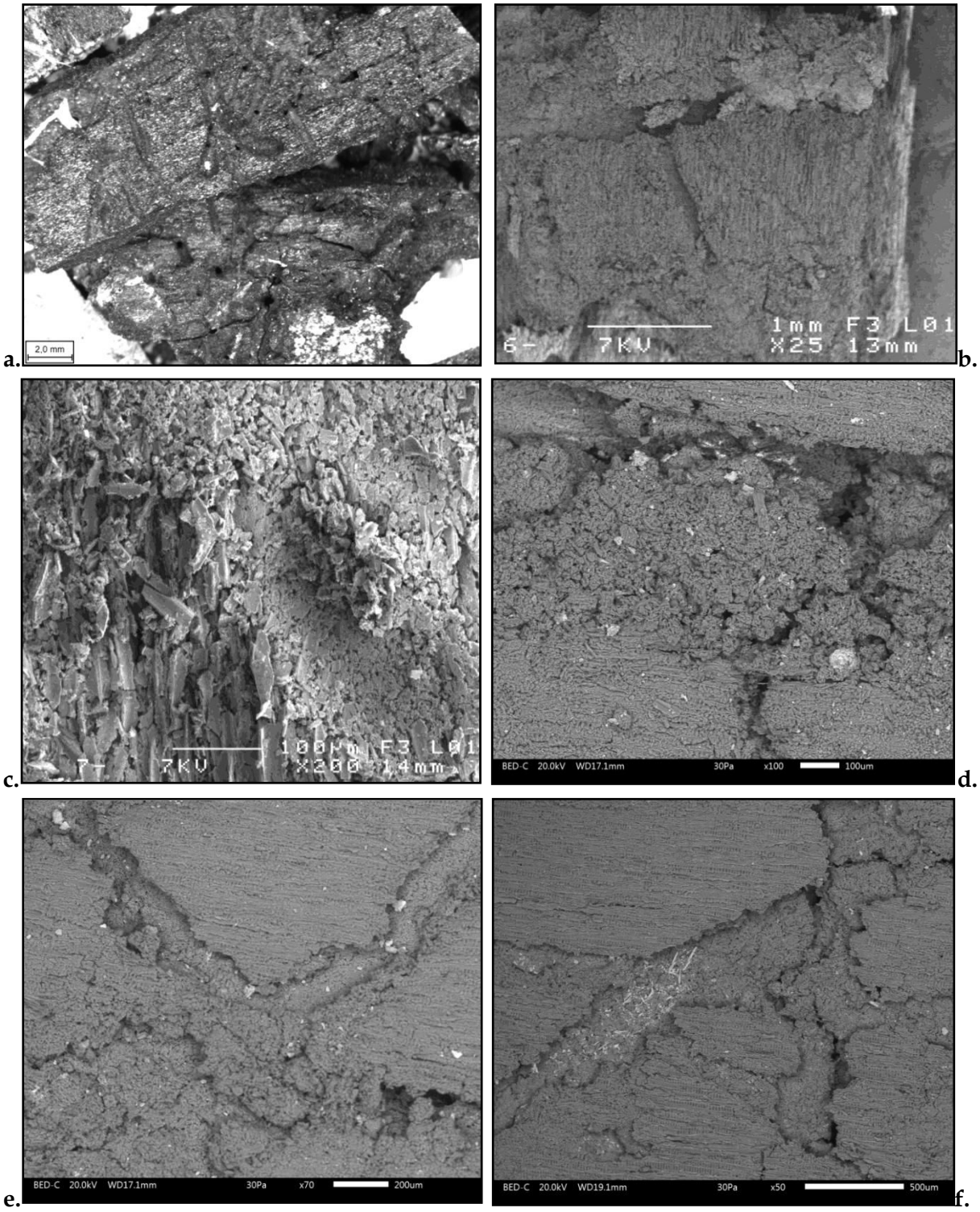


FIGURE 195 - Répartition et effectif des galeries selon les pièces de bois de la structure 3495.

Par ailleurs, 52 fragments de sapin provenant de la pièce de bois CH 1 ont conservé des traces de champignon lignivore de type pourriture cubique. Cette infestation représente 21,49 % de l'ensemble de la structure. Enfin, deux arthropodes ainsi que quelques hyphes blancs superficiels ont été observés sur deux fragments de charbon de CH 1.



a. **b.** **c.** **d.** **e.** **f.**

PLANCHE 30 - a à d. Exemples de galeries type de *Cossoninae*, US 3495. **e et f.** Détails de la vermoulure type *Cossoninae*, US 3495.

i. 3527

- Anthracologie

Le prélèvement 3527 CH 1 est en sapin (57,8 % *Abies alba* ; 37,8 % *cf. Abies alba* ; 4,4 % gymnosperme indéterminable). Il est dans l'exact alignement de 3495 CH 1, lui aussi en sapin. Il s'agirait donc probablement de la même pièce de bois, restituable sur environ 5 m de long au total. La pièce de bois CH 2, qui présente également un creusement similaire à ceux de 4095 CH 1, est en pin d'Alep/pin pignon (43 % *Pinus halepensis* ; 54 % *Pinus halepensis/Pinus pinea* ; 3 % gymnosperme indéterminable) et est dans l'alignement de 3495 CH 5 (sapin) et de CH 4 (pin d'Alep). Cet agencement semble plus composite, constitué de deux essences et donc d'au moins trois pièces de bois pour obtenir la longueur similaire à CH 1. Ensuite, la pièce CH 3, aligné avec 3495 CH 6 (pin d'Alep/pin pignon), est en pin pignon et a nécessité l'analyse d'une centaine de charbons de bois. Les charbons issus de CH 6 étaient moins bien lisibles que ceux de CH 3. Est-ce synonyme de deux pièces différentes, ou d'une différence de conservation du bois ? Enfin, le petit prélèvement CH 4, d'une vingtaine de charbons éloigné des autres et perpendiculaires, est en frêne (FIGURE 196 ; FIGURE 197)[583].

Au final, sur 265 charbons de bois analysés pour la structure 3725, le pin pignon est majoritaire avec 37,7 %, suivi de près par le pin d'Alep/pin pignon (36,6 %). Ensuite, vient le sapin à 16,2 %, le frêne à 5,3 % et 4,2 % des échantillons ont été notés « gymnospermes » et « angiospermes indéterminables ».

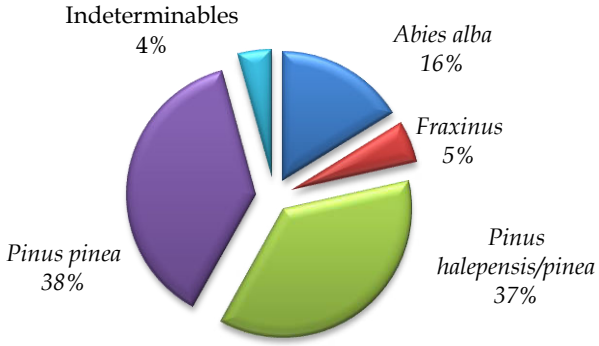


FIGURE 196 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3527.

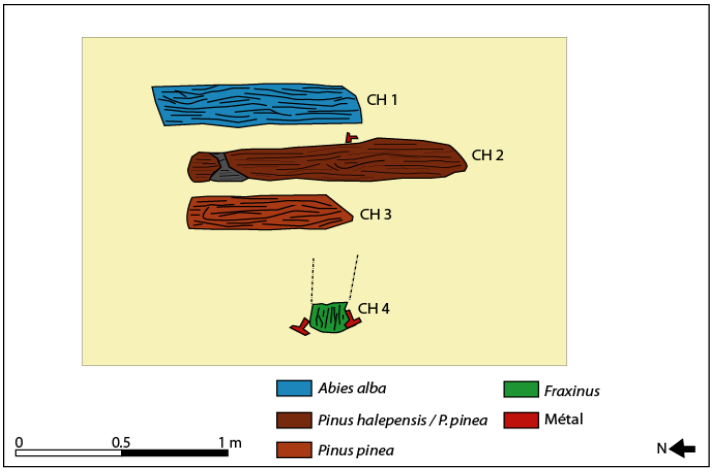


FIGURE 197 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3527, DAO M. TORITI.

[583] Tableaux de détails par échantillon n°209 à 212, Annexe 6, page 201.

- Test dendrochronologique

Pour la structure 3527, six échantillons de charbon de bois ont été mesurés sur le banc dendrochronologique. Tout d'abord, un test a été effectué sur un gros charbon de pin d'Alep. Mais il s'agit d'une essence trop variable pour obtenir de larges séquences fiables (FIGURE 198). La deuxième essence testée est le pin pignon. Les charbons mesurés sont tous issus de la même pièce de bois, mais situés à des sections (prélèvements) différentes le long de cette pièce. Trois courbes flottantes ont ainsi été réalisées (une par section) : deux résultantes de moyennes (FIGURE 199 ; FIGURE 200) entre deux échantillons donnant respectivement 21 et 18 cernes ont été obtenues. Et un seul charbon comprend 14 cernes (FIGURE 201).

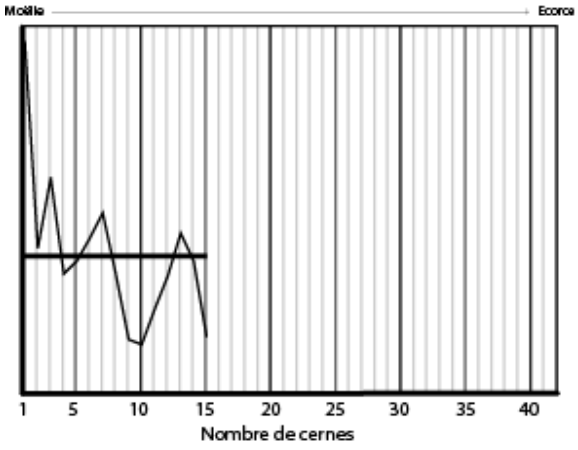


FIGURE 198 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US3527-CH3-N°3 : *Pinus halepensis*. Total : 15 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

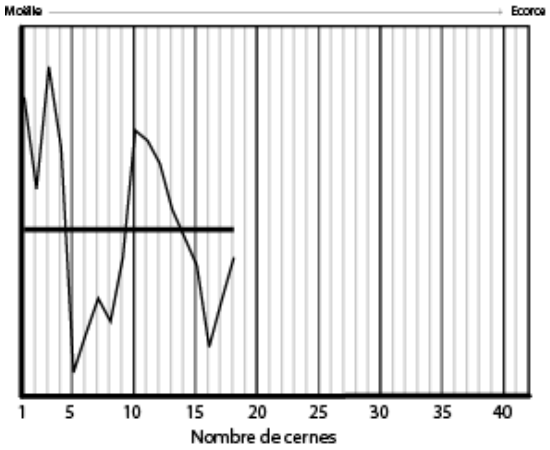


FIGURE 199 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US3527-CH3-N°7 et N°9 : *Pinus pinea*. Total : 18 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

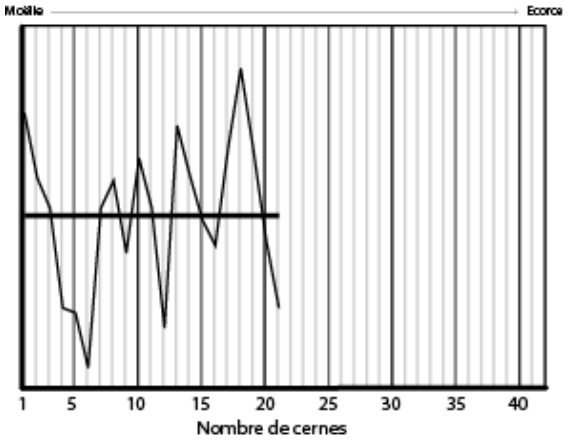


FIGURE 200 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US3527-CH3-N°2 et N°33 : *Pinus pinea*. Total : 21 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

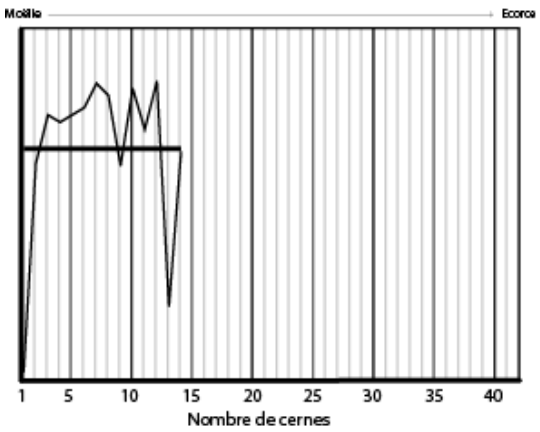


FIGURE 201 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US3527-CH3-N°34 : *Pinus pinea*. Total : 14 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

- Entomologie

Sur 265 charbons analysés, 98 fragments, soit 37 %, présentent des traces d'insectes xylophages de type *Cossoninae*. Au total, 171 galeries ont été enregistrées. La majorité d'entre elles (95,9 %) se situent sur l'élément en pin pignon noté CH 3 (TABLEAU 213 ; FIGURE 202).

	Cossoninae	*Cf. Cossoninae*	Indéterminés	TOTAL
CH 1	0	0	1	**1**
CH 2	0	4	2	**6**
CH 3	125	37	2	**164**
CH 4	0	0	0	**0**
TOTAL	**125**	**41**	**5**	**171**
%	**73,10**	**23,98**	**2,92**	**100**

TABLEAU 213 - Répartition et effectif des insectes xylophages identifiés, US 3527.

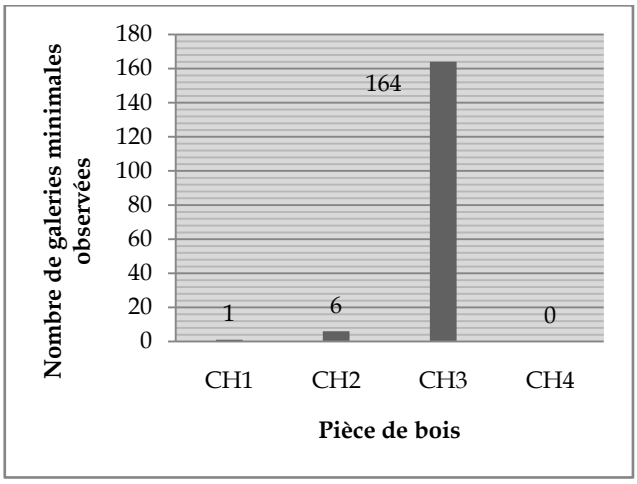


FIGURE 202 - Répartition et effectif des galeries selon les pièces de bois de la structure 3527.

Deux fragments de charbons de CH 3 présentent des hyphes superficiels sur leurs surfaces. Deux arthropodes de type collemboles[584], vivants au moment de l'analyse, ont également été repérés. En revanche, aucune trace de champignon lignivore n'a été enregistrée pour cet ensemble carbonisé.

j. 3585

- Anthracologie

Les trois prélèvements de l'US 3585 (150 charbons analysés) sont en pin d'Alep, avec dans l'ensemble, une vitrification et une calcification basses. L'échantillon CH 1 a fourni une analyse de 100 charbons et possède 57 % de pin d'Alep, 40 % de pin d'Alep/pin pignon et 3 % de gymnospermes indéterminables. L'échantillon noté CH 2 présente neuf fragments de pin d'Alep/pin pignon, soit 22,5 %, ainsi que 29 fragments de pin d'Alep (72,5 %) et 5 % de gymnosperme indéterminable (quatre charbons). Enfin, la petite bûche CH 3 fournit 54 % de pin d'Alep, 40 % de pin d'Alep/pin pignon et 6 % de gymnospermes indéterminables pour un total de 50 charbons analysés (FIGURE 203)[585].

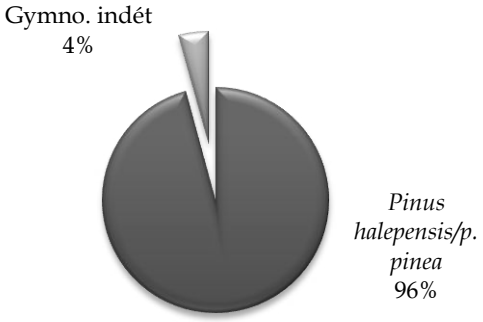


FIGURE 203 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3585.

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

[584] Chapitre II, pages 106.

[585] Tableaux de détails par échantillon : n°214 à 216, Annexe 6, page 202.

- Entomologie

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

k. 3766

- Anthracologie

Les 320 charbons de bois représentés sont en bon état de conservation, bien observables. D'une manière générale, la vitrification et la calcification sont basses : niveaux 1 et 2. Le bois de compression est pratiquement absent ou très faible, ce qui indique l'usage de bois ayant poussé sur une surface plane.

Les éléments carbonisés CH 1 et CH 3 sont composés exclusivement de sapin, respectivement 97 % d'*Abies alba* et 3 % de *cf. Abies alba*, puis 100 % *Abies alba*. L'échantillon noté CH 2 est aussi composé majoritairement de sapin (95 %), toutefois la présence d'une de hêtre avec 3,3 % soulève l'idée d'une contamination entre les prélèvements. Un fragment est resté noté gymnosperme indéterminable (1,7 %). Le hêtre est très probablement à situer sur CH 4, composé à 97 % de cette essence, les 3 % restants sont comme pour CH 2, un indice de mélanges des structures lors de la démolition, en sapin (FIGURE 204 ; FIGURE 205).

Au total, l'US 3766 est composée de 68,8 % de sapin, de 30,9 % de hêtre et 0,3 % restent notés « gymnospermes indéterminables »[586].

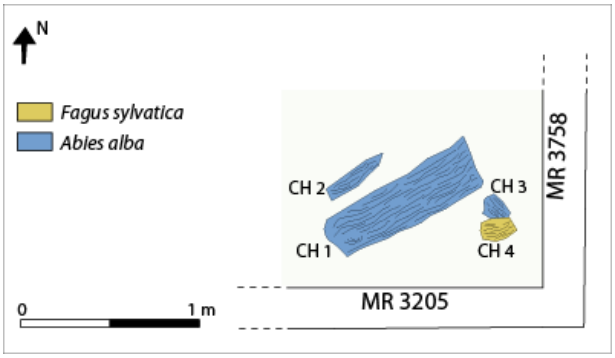


FIGURE 204 - Schéma de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3766, DAO M. TORITI.

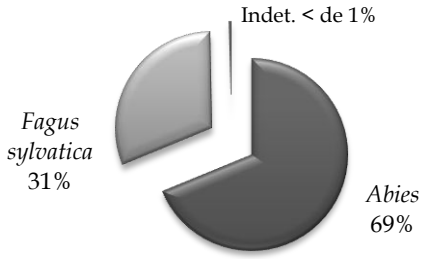


FIGURE 205 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3766.

- Test dendrochronologique

Pas de séquence favorable.

- Entomologie

Sur 320 charbons analysés, 88 fragments présentent des traces d'infestations par de la vrillette (*Anobium punctatum* L. et *Ptinidae*), soit 27,5 % de l'ensemble de la structure. Le sapin (CH 1, 2 et 3) est l'essence la plus infestée. Les galeries observées sur le hêtre (CH 4) sont plus difficiles à identifier (*Ptinidae*) (TABLEAU 221 ; FIGURE 206).

Les fragments soupçonnés avoir été attaqués par les *Ptinidae*, ont été préalablement étudiés selon le protocole établit en CHAPITRE II afin de déterminer l'espèce en question (*Anobium*, *Oligomerus* ou *Nicobium*). Les vermoulures fusiformes (PLANCHE 31), outre l'observation anatomique, ont été mesurées puis comparées au référentiel statistique (FIGURE

[586] Tableaux de détails par échantillon : n°217 à 220, Annexe 6, page 203.

207 a.). Les tailles des vermoulures carbonisées mesurées sont projetées à proximité du nuage de point de référence nommé « *Anobium* ». Ces vermoulures, de par leur petite taille, ont bénéficié d'un test d'application d'une marge d'erreur liée à la perte de taille lors de la carbonisation[587] (FIGURE 207 b.). Les vermoulures mesurées semblent plutôt correspondre à l'espèce *Anobium puctatum*.

	Anobium punctatum	*Ptinidae*	Indéterminés	TOTAL
CH 1	50	7	2	**59**
CH 2	15	3	0	**18**
CH 3	2	4	0	**6**
CH 4	0	10	1	**11**
TOTAL	**67**	**24**	**3**	**94**
%	**71,28**	**25,53**	**3,19**	**100**

TABLEAU 221 - Répartition et effectif des insectes xylophages identifiés, US 3766.

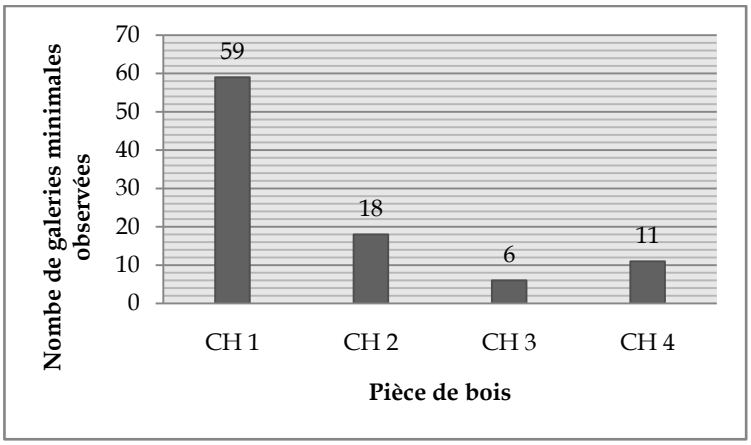


FIGURE 206 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3766.

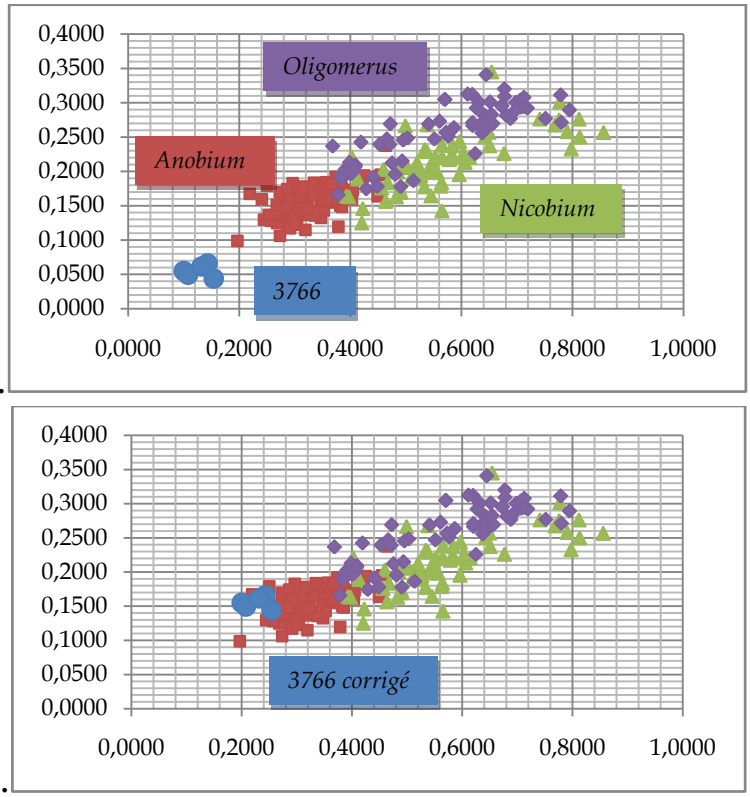
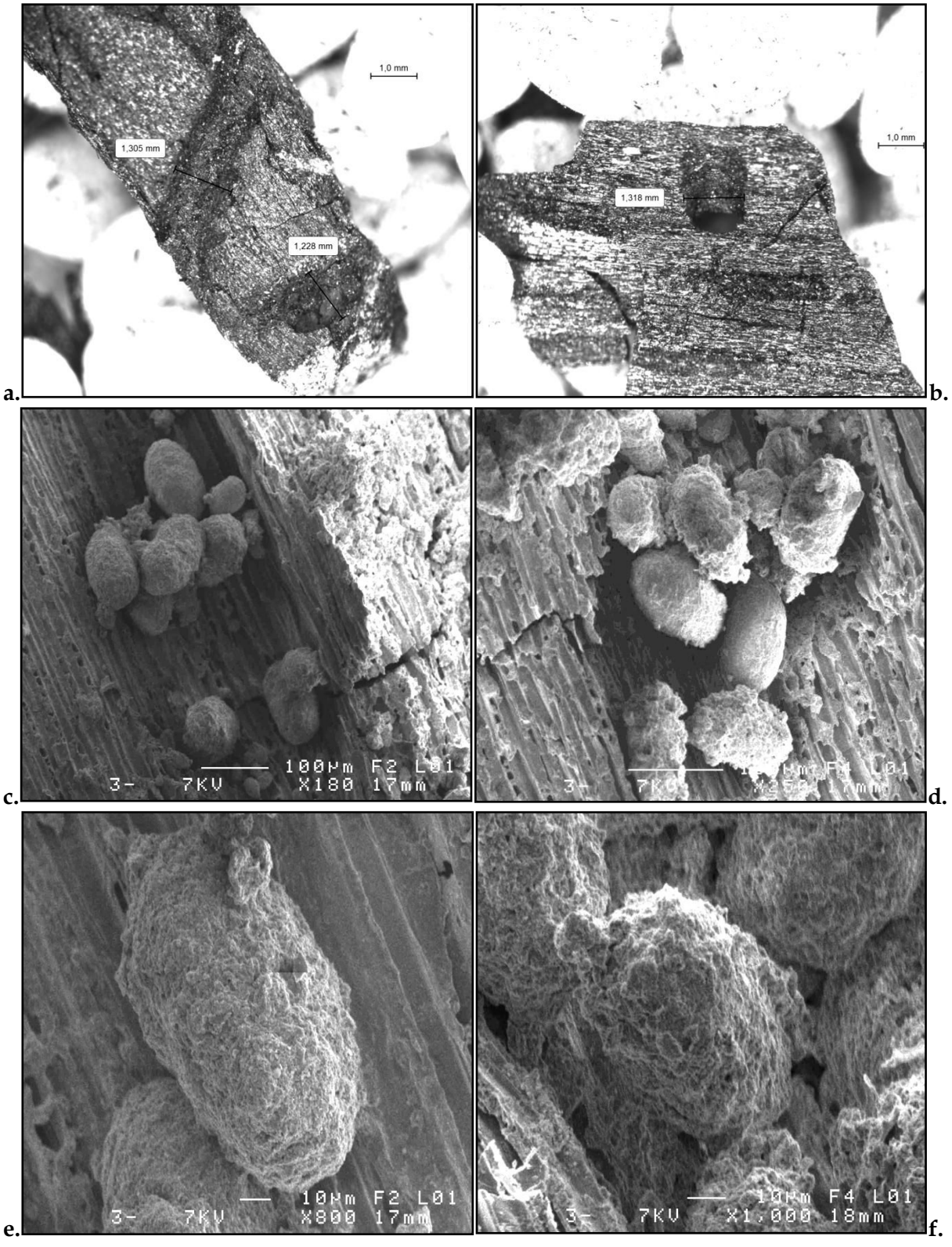


FIGURE 207 - Représentation des vermoulures de type fusiforme, en nuage de points : référentiel et projection des vermoulures fusiformes observées sur 3766 (en bleu). **a.** Mesures des vermoulures carbonisées. **b.** Mesures corrigées.

Cinq fragments de charbons de CH 1 présentent des hyphes superficiels sur leurs surfaces. Quatre arthropodes de type *Scolopendria* ont également été repérés. En revanche, aucune trace de champignon lignivore n'a été enregistrée pour cet ensemble carbonisé.

[587] À chaque mesure de taille (largeur et longueur) effectuée, il a été ajouté un taux théorique de 12 % (qu'il conviendrait de calculer plus précisément dès lors que ce calcul sera nécessaire pour la reconnaissance d'autres espèces).



a. **b.** **c.** **d.** **e.** **f.**

PLANCHE 31 - a et b. Exemples de galeries type de *Ptinidae*, US 3766. **c et d.** Vermoulure carbonisée d'*Anobium punctatum*, US 3766. **e et f.** Détails de la vermoulure carbonisée type *Anobium punctatum*, US 3766.

L. 3775

L'US 3775 est une structure complexe tant dans son contexte de prélèvement, que dans le nombre d'éléments carbonisés en jeu (FIGURE 173, *cf. supra*).

- Anthracologie

Même si les limites de plusieurs des pièces de bois prélevées demeurent flouent, elles n'en restent pas moins de bonne qualité. La vitrification est faible à moyenne selon les échantillons, et de même pour la calcification : niveaux 1 à 3. La représentation du bois de compression est faible, quelle que soit l'essence, hormis pour CH 10 et CH 25 (pin d'Alep) où la compression est bien visible dans les cellules du bois[588]. Tout d'abord, les grandes pièces de bois sont au nombre de cinq et ont toutes été prélevées en trois sections, conservées dans des boîtes plastiques afin de faciliter l'analyse en laboratoire. La première pièce, centrale et orientée nord-sud (CH 20), est en hêtre (*Fagus sylvatica* 86,7 % pour 120 charbons analysés), mais comprend aussi des fragments d'essences diverses telles que le buis (1,7 %), du pin d'Alep/pin pignon (4,2 %), du chêne à feuillage persistant (2,5 %), du chêne liège (*Quercus suber* 2,5 % et *Quercus cf. suber* 0,8 %), 0,8 % d'angiosperme indéterminable et 0,8 % de fragments indéterminables. Perpendiculaire à la première et d'orientation est-ouest, la pièce CH 22, est également en hêtre à 51 %. Tout comme CH 20, la présence d'autres essences est attestée, telles que l'aulne à 17 % (*Alnus* et 1 % *cf. Alnus*), le pin d'Alep/pin pignon à 28 % et les indéterminables (2 % angiospermes indéterminables et 1 % indéterminable). En parallèle, et limitant le nord de la structure, CH 23 apparaissait très épais et accompagné de nombreux fragments de cordage et tissus carbonisés (FIGURE 208). Chacune de ses sections présentent diverses essences. La section 1, correspondant à l'angle avec CH 27, est principalement en hêtre (ainsi que quelques fragments de chêne F.C.). La section 2, plus épaisse, est en réalité en deux parties : la partie supérieure est en pin d'Alep et la partie inférieure en hêtre. Enfin, la section 3 a été notée postérieurement à CH 16, en raison de son axe légèrement dévié. Cette portion est beaucoup plus mixte avec de gros éléments en chêne F.C., en chêne liège et chêne sempervirent, puis, des petits fragments d'aulne, de frêne, un fragment de hêtre et des angiospermes indéterminables. De la même manière, CH 22, situé au centre de la structure et parallèle à CH 23 et 21, est également en hêtre à 51 %. 28 % des fragments sont en pin d'Alep/pin pignon et placés sur le dessus, ainsi que des petites essences comme l'aulne à 17 % (*Alnus* et 1% *cf. Alnus*) et 3 % d'indéterminables. Enfin, le cinquième élément imposant en bois, CH 21, localisé au sud et orienté est-ouest est quant à lui en sapin (86 %). On note quelques rares fragments de hêtre (7 %), sans doute issus de CH 20 qui passe dessous, 4 % de chêne et 3 % de gymnospermes indéterminables.

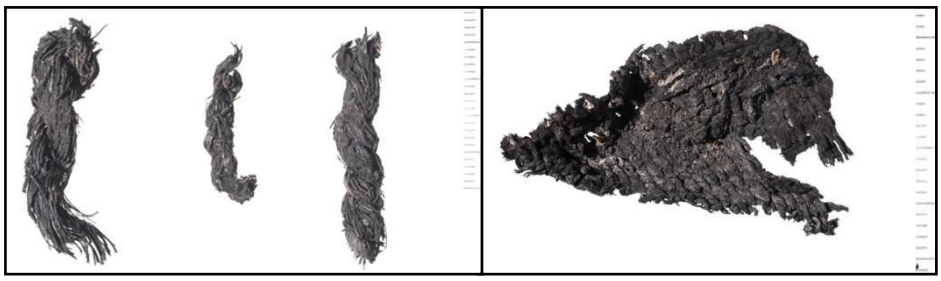


FIGURE 208 - Fragments de cordage et de tissus carbonisés retrouvé sur CH 23. Cl. Christine DURAND, CCJ.

[588] Tableaux de détails par échantillon : n°222 à 248, Annexe 6, pages 204 à 210.

Sur la partie ouest, contre CH 17 et 18, un objet carbonisé a été prélevé à part, pensant être une structure en charbon de bois. Ce prélèvement s'avère être en réalité un objet carbonisé entouré d'un tissu également carbonisé, peut être un pain, cuit ou cru[589] (FIGURE 209).

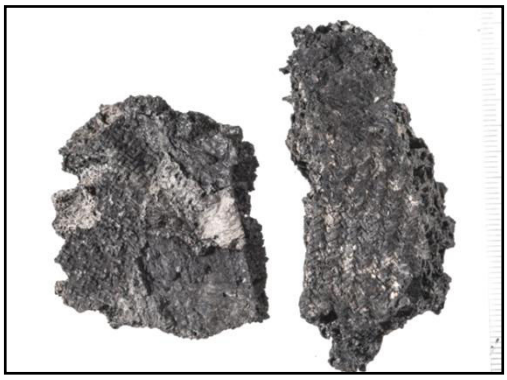


FIGURE 209 - Fragments de pain carbonisé recouvert de tissus sur une face. Cl. Christine DURAND, CCJ.

Tous les autres éléments en bois, de tailles plus modestes, ont des limites moins nettes mais semblent composer la partie supérieure de l'ensemble de la structure. La majorité d'entre eux sont en pin d'Alep/pin pignon, mais on trouve aussi des éléments en hêtre (CH 4, 6, 14 et 15), en sapin (CH 9) et en pin de type sylvestre (CH 19).

Au total, 1572 charbons ont été analysés. Le hêtre arrive en première position avec 34,03 %, soit 535 charbons, de l'ensemble des éléments en bois, suivi par le pin d'Alep/pin pignon avec un taux de 26,59 %, soit 416 fragments, puis par le pin d'Alep bien identifié à 14,06%. Viennent ensuite le sapin à 11,96 %, le chêne liège (3,43 %), l'aulne (3,12 %), le pin de type sylvestre (1,91 %), puis les indéterminables (gymnospermes à 0,76 %, angiospermes à 0,7 %, indéterminables à 0,32 % et angiospermes indéterminés à 0,19 %) et les taxons en moindre proportion : chêne sempervirent (0,64 %), frêne (0,51 %), érable à gros rayons (0,45 %), *cf.* pin d'Alep/pin pignon (0,38 %), chêne F.C. (0,25 %), chêne (0,25 %), *cf.* aulne (0,19 %), *cf.* sapin (0,13 %) et le buis (0,13 %) (FIGURE 210 ; FIGURE 211).

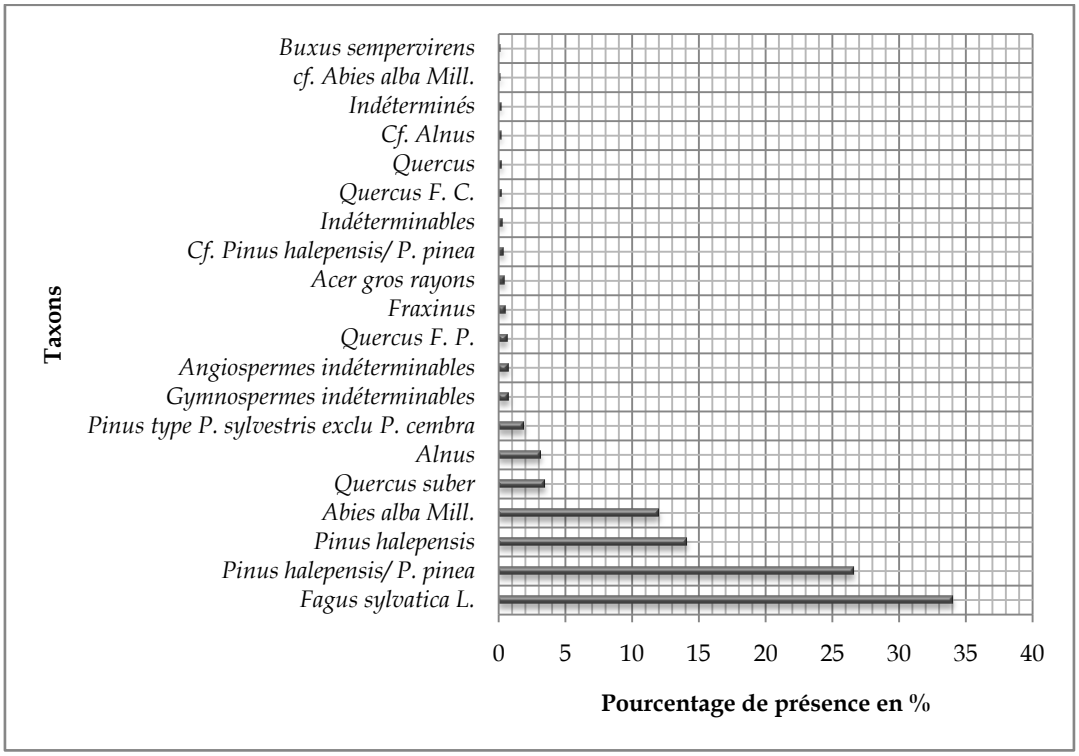


FIGURE 210 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3775.

[589] Étude des tissus analyse de F. MÉDARD.

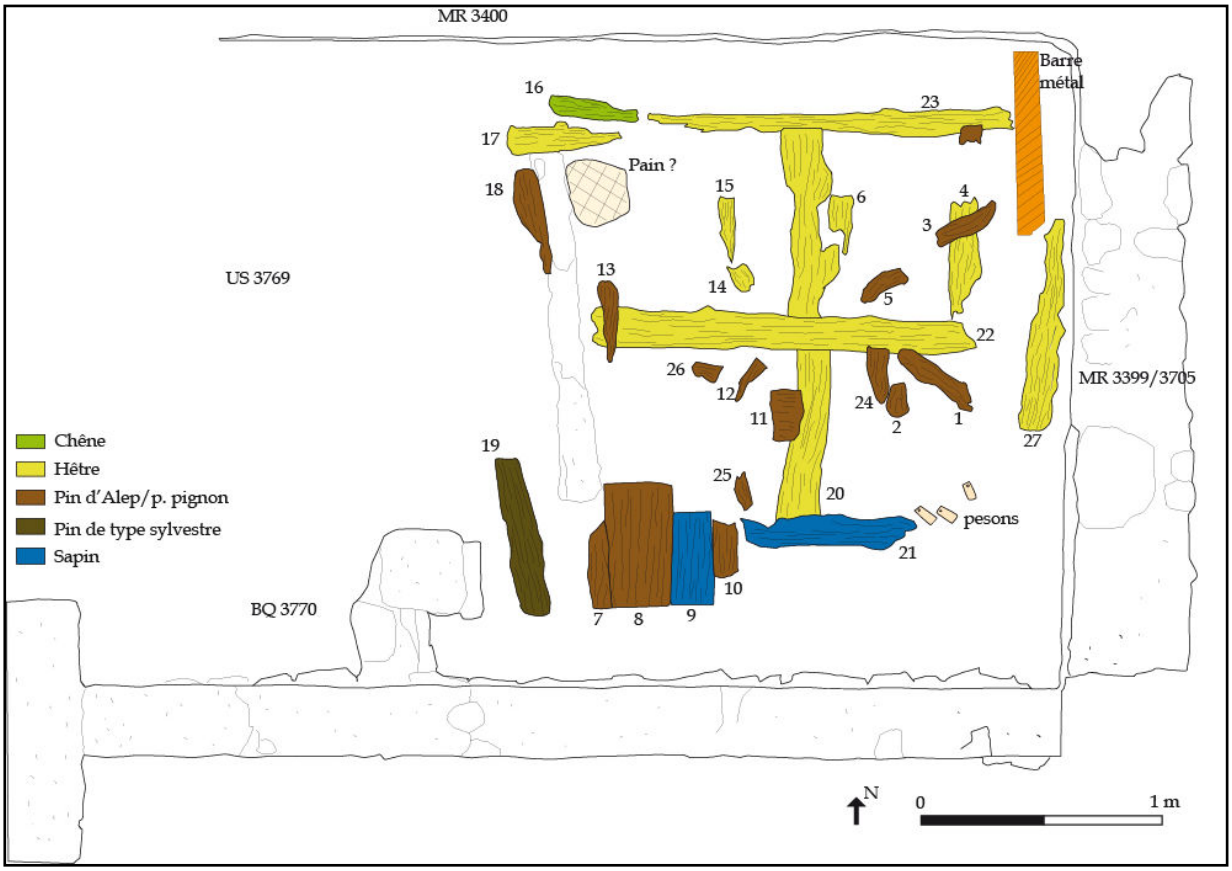


FIGURE 211 - Schéma de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3775, DAO M. TORITI.

- Test dendrochronologique

Les échantillons de hêtre (*Fagus sylvatica*) mesurés correspondent à sept gros charbons appartenant tous à la même pièce de bois. La première courbe présentée est une moyenne de deux échantillons donnant 42 cernes (FIGURE 212).

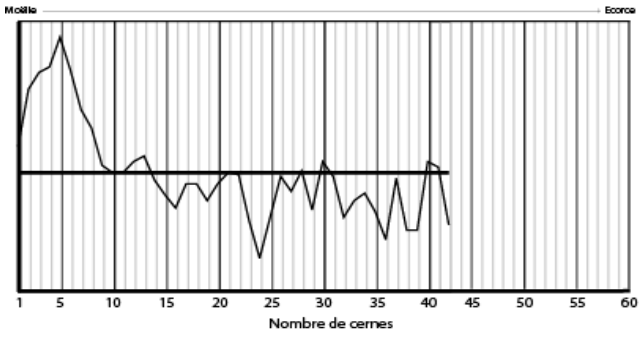
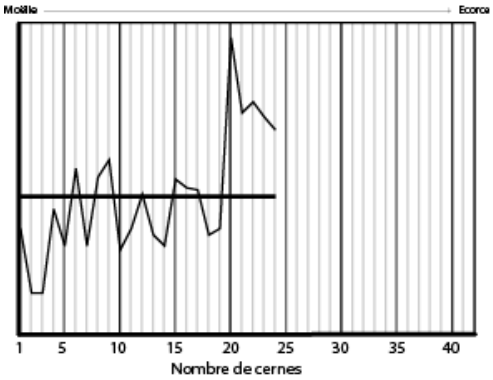


FIGURE 212 - Courbe dendrochronologique : Moyenne des échantillons CAM-US3775-CH23-N°1 et N°102 : *Fagus sylvatica*. Total : 42 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.



Les autres courbes flottantes résultent de charbons mesurés seuls comprenant chacun une vingtaine de cernes. En revanche, ces courbes ne se recalent pas entre elles (FIGURE 213 à FIGURE 217).

FIGURE 213 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°108 : *Fagus sylvatica.* Total : 24 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

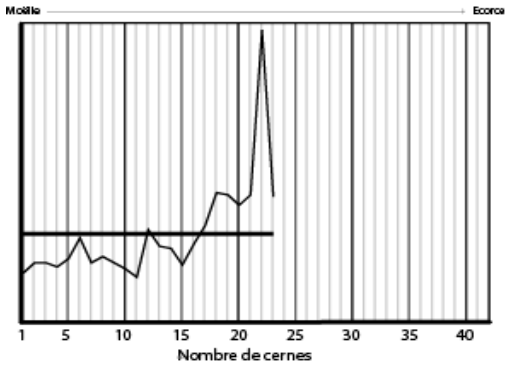


FIGURE 214 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°109 : *Fagus sylvatica.* Total : 23 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

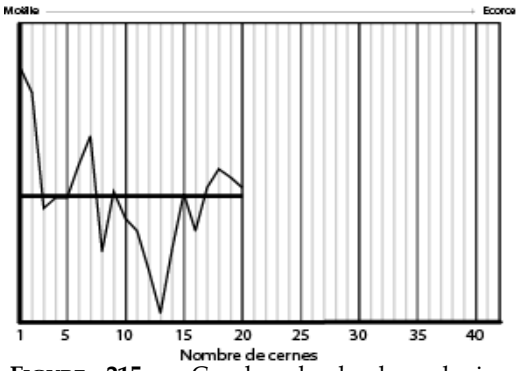


FIGURE 215 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°1bis : *Fagus sylvatica.* Total : 20 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

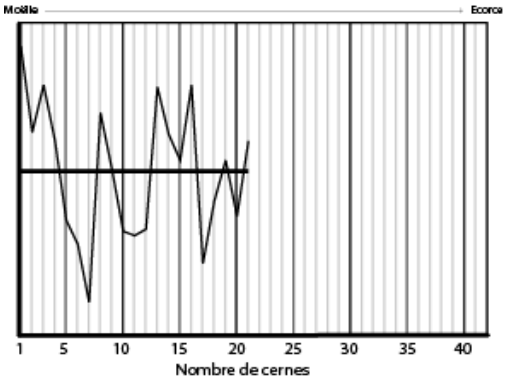


FIGURE 216 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°2 : *Fagus sylvatica.* Total : 24 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

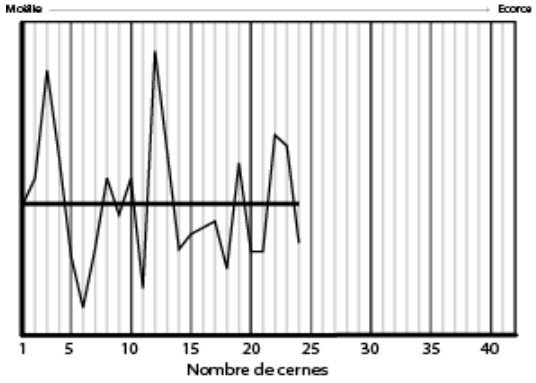


FIGURE 217 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°7 : *Fagus sylvatica.* Total : 21 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

Un échantillon de chêne liège (*Quercus suber*) provenant d'une section de la poutre CH 23 est constitué exclusivement de chêne liège. Afin de compléter l'ensemble du prélèvement, un test de mesure de cerne a été fait sur un gros charbon de chêne, donnant ainsi 16 cernes (FIGURE 218).

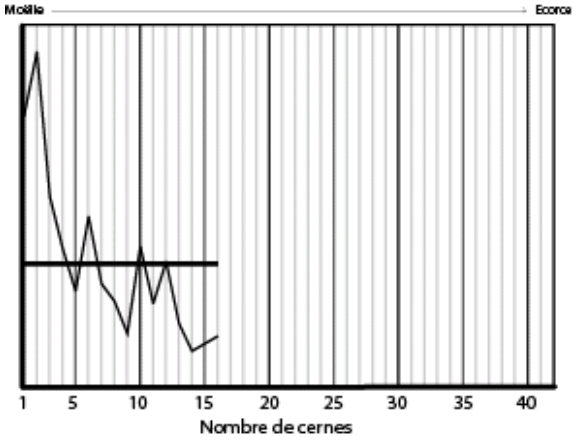


FIGURE 218 - Courbe dendrochronologique : Moyenne des échantillons CAM-US3775-CH23-N°111 et N°112 : *Quercus suber* L. Total : 16 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

Les échantillons de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) mesurés correspondent à quelques gros charbons analysés au sein de ce même prélèvement CH 23. Deux courbes dendrochronologiques ont donc été mesurées à partir de deux charbons. Elles donnent 26 et 22 cernes (FIGURE 219 ; FIGURE 220).

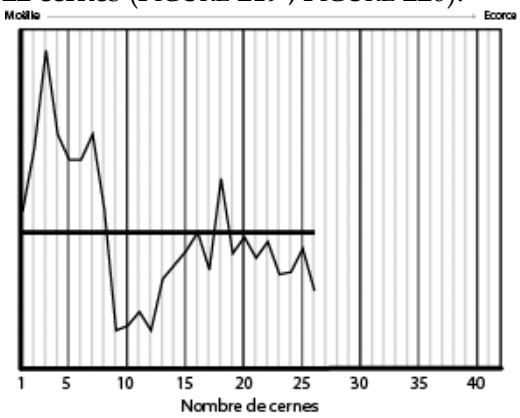


FIGURE 219 - Courbe CAM-US3775-CH23-N°19 : *Pinus halepensis*. Total : 26 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

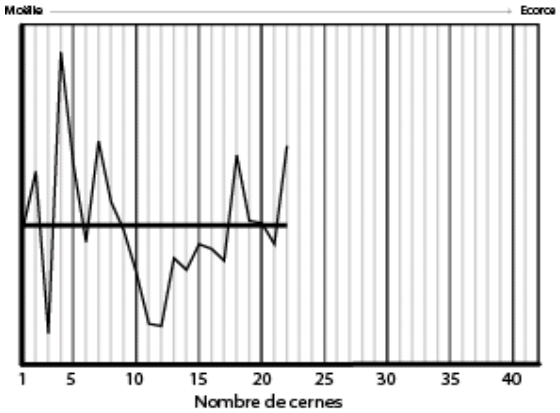


FIGURE 220 - Courbe CAM-US3775-CH23-N°8 : *Pinus halepensis*. Total : 22 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

- Entomologie

Un total de 753 galeries a été observé sur 553 charbons, ce qui correspond à 35,22 % de l'ensemble de la structure (FIGURE 221 ; TABLEAU 249). Les traces d'infestations identifiées sont de type vrillette : *Anobium punctatum* L. à 37,99 %, *Oligomerus ptilinoides* à 1,59 % et *Ptinidae* à 41,43 %. Un nombre important de galeries, 18,99 %, restent indéterminées (FIGURE 222 ; PLANCHE 32).

Seules les pièces CH 16 (chêne) et CH 19 (pin de type sylvestre) ne présentent aucune trace d'infestation de xylophage. En revanche, les 25 autres éléments carbonisés comportent deux à plusieurs dizaines de galeries, CH 27 étant la pièce la plus impactée avec 104 galeries observées. Cette proportion, pour CH 27, correspond à un taux d'infestation (nombre de charbons infestés par rapport au nombre de charbons observés) de près de 74 %[590].

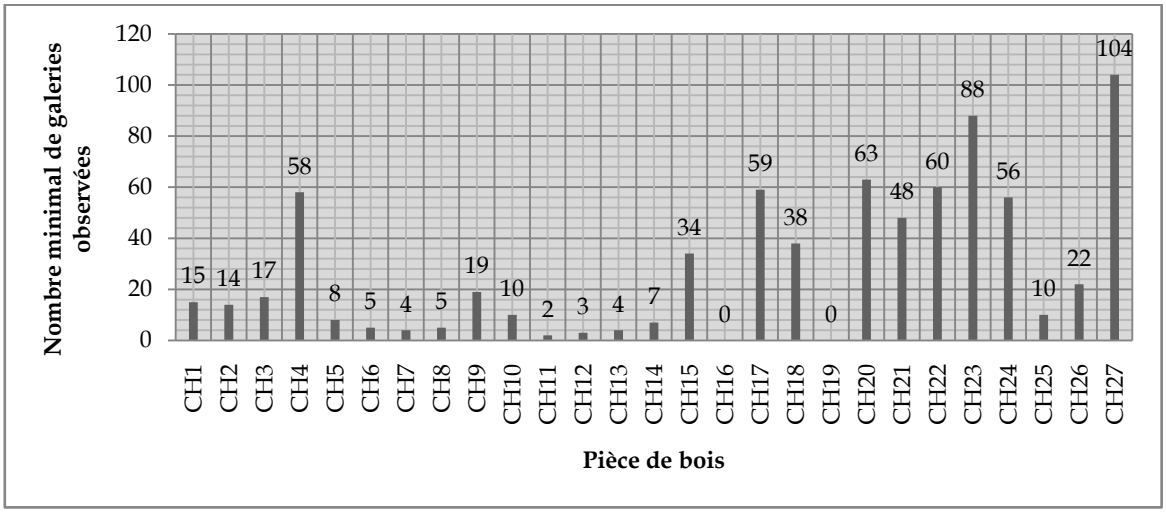


FIGURE 221 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3775.

[590] Calcul effectué pour toutes les pièces de la structure 3775 dans le tableau (FIGURE 78).

	Anobium punctatum	*Oligomerus ptilinoides*	*Ptinidae*	Indéterminé	TOTAL galeries	Proportion d'infestation de la pièce (%)
CH 1	1	0	9	5	**15**	**21,7**
CH 2	3	0	5	6	**14**	**20**
CH 3	4	0	13	0	**17**	**50**
CH 4	12	0	36	10	**58**	**52**
CH 5	2	0	5	1	**8**	**20**
CH 6	2	0	2	1	**5**	**10**
CH 7	1	0	0	3	**4**	**13,3**
CH 8	3	0	2	0	**5**	**8,3**
CH 9	9	0	7	3	**19**	**18**
CH 10	0	0	8	2	**10**	**30**
CH 11	1	0	0	1	**2**	**6,7**
CH 12	3	0	0	0	**3**	**7,5**
CH 13	3	0	1	0	**4**	**14,8**
CH 14	4	0	0	3	**7**	**12**
CH 15	20	0	7	7	**34**	**50**
CH 16	0	0	0	0	**0**	**0**
CH 17	53	0	5	1	**59**	**55**
CH 18	12	0	16	10	**38**	**52,2**
CH 19	0	0	0	0	**0**	**0**
CH 20	33	12	15	3	**63**	**45,8**
CH 21	1	0	46	1	**48**	**28**
CH 22	20	0	34	6	**60**	**44**
CH 23	34	0	54	0	**88**	**21,3**
CH 24	24	0	23	9	**56**	**78,3**
CH 25	7	0	1	2	**10**	**33,3**
CH 26	14	0	7	1	**22**	**50**
CH 27	21	0	16	68	**104**	**74**
TOTAL	**286**	**12**	**312**	**143**	**753**	**35,22**
%	**37,99**	**1,59**	**41,43**	**18,99**	**100**	**-**

Ce taux d'infestation par pièce de bois est représenté ci-après (FIGURE 222). L'infestation est plus importante à l'est et au centre de la structure. Les éléments situés à l'est de la structure (CH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 22, 24 et 27) gardent les stigmates d'un champignon de type pourriture cubique (PLANCHE 32 d).

Parmi toutes les données récoltées sur les infestations, le hêtre, qui correspond aux pièces de tailles importantes telles que CH 20, est l'essence la plus infestée à 58 %. Viennent ensuite le pin d'Alep/pin pignon correspondant à 28 % des infestations et le sapin à 11 %. La catégorie « autres » qui rassemble 3 % de l'ensemble des infestations, concerne les essences identifiées considérées précédemment comme résiduelles (aulne, érable, buis...) (FIGURE 223).

TABLEAU 249 - Répartition et effectif des insectes xylophages identifiés, US 3775.

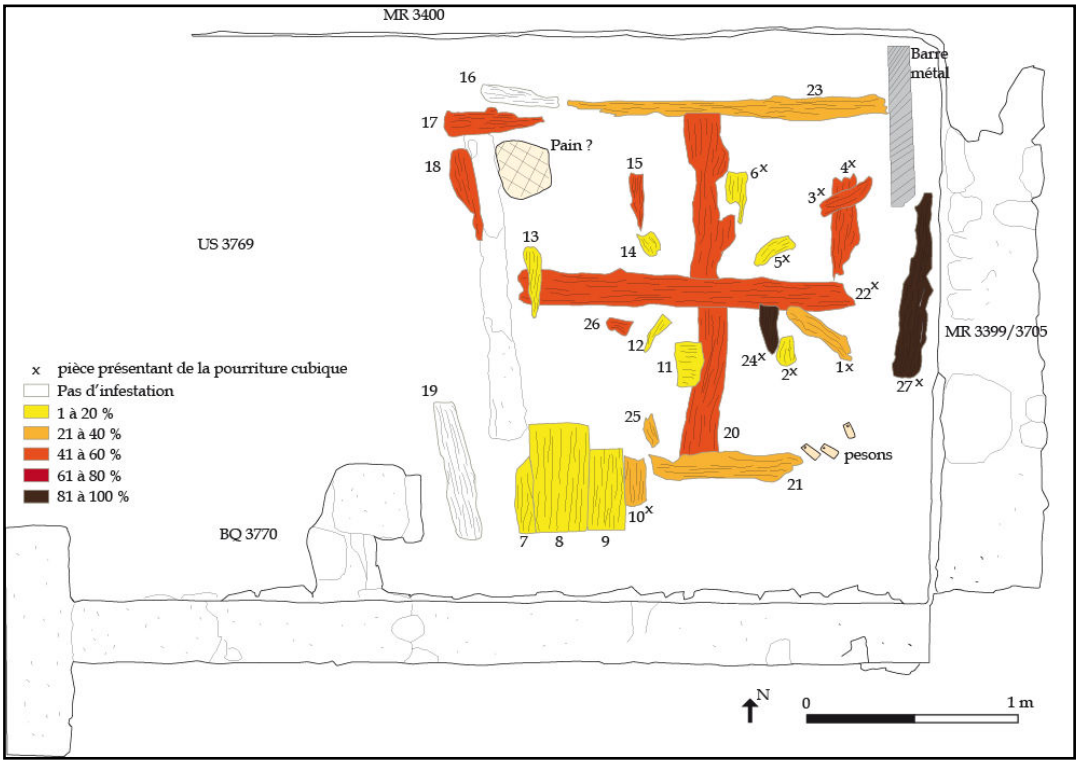


FIGURE 222 - Schéma de répartition des taux de galeries (en %) par éléments en bois et indication de présence de traces d'un champignon de type pourriture cubique (par un x à côté du numéro de l'échantillon), pour la structure 3775, DAO M. TORITI.

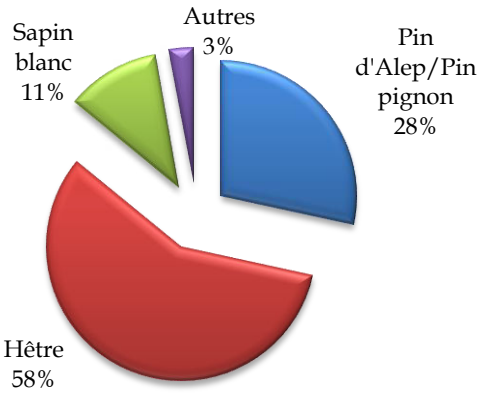


FIGURE 223 - Proportion en % des essences ligneuses infestées au sein de la structure 3775.

Le diamètre des galeries observées pour chacune de ces essences (hêtre, sapin et pin) a été mesuré (TABLEAU 250 ; FIGURE 224). Quelque soit l'essence, le diamètre des galeries est sensiblement le même, avec une moyenne générale de 0,8 mm. Une galerie sur du sapin fait près de 4,5 mm de diamètre et induirait alors une nouvelle espèce de ravageur. Or l'absence de vermoulure interdit pour l'heure une identification fiable.

Moyenne diamètre galeries			Moyenne taille vermoulures fusiformes					
Pin d'Alep/Pin pignon	Hêtre	Sapin blanc	Pin d'Alep/Pin pignon		Hêtre		Sapin blanc	
			Longueur	Largeur	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur
0,7730	0,8078	0,7890	0,1806	0,0936	0,2490	0,1278	0,1910	0,0995

TABLEAU 250 - Moyennes des mesures enregistrées pour les galeries puis pour les vermoulures fusiformes selon l'essence infestée (en mm).

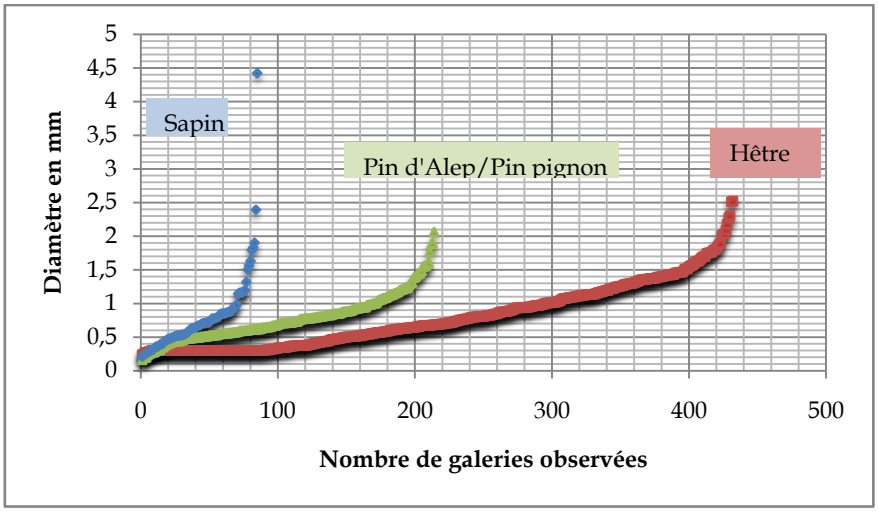


FIGURE 224 - Diamètre des galeries en mm, selon l'essence ligneuse.

Les fragments soupçonnés avoir été attaqués par les *Ptinidae*, ont été préalablement étudiés selon le protocole établi en CHAPITRE II afin de déterminer l'espèce en question (*Anobium*, *Oligomerus* ou *Nicobium*). Les vermoulures fusiformes (PLANCHE 32 e à g), outre

l'observation anatomique[591], ont été mesurées et séparées par type d'essences infestées (FIGURE 225). L'ensemble des mesures sont proches et semblent former un seul et même groupe, hormis pour quelques vermoulures retrouvées sur du hêtre avec une taille moyenne légèrement plus élevée (TABLEAU 250). Dans un second temps, ces mesures sont comparées au référentiel statistique (FIGURE 226).

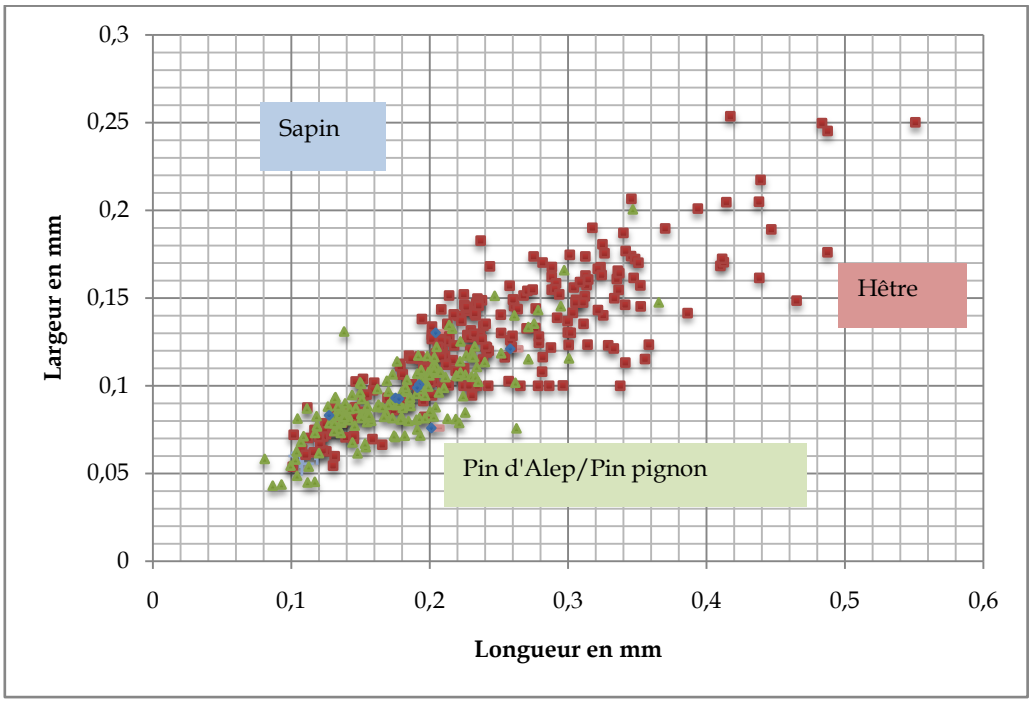


FIGURE 225 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points, observées selon l'essence ligneuse, US 3775.

Les tailles des vermoulures carbonisées mesurées sont projetées, en grande majorité, à proximité du nuage de point de référence nommé « *Anobium* ». Une douzaine de vermoulures, observées sur le hêtre de CH 20, sont en revanche de taille plus importantes et semblent plutôt correspondre à l'espèce « *Oligomerus* ». De plus, leur forme bombée et leur apex est typique de l'espèce et ne peux pas être confondu avec *Anobium* ou *Nicobium*. Ainsi, la marge d'erreur n'a pas été appliquée.

[591] *Cf.* pages 112 et volume III, 103 (les trois premières espèces).

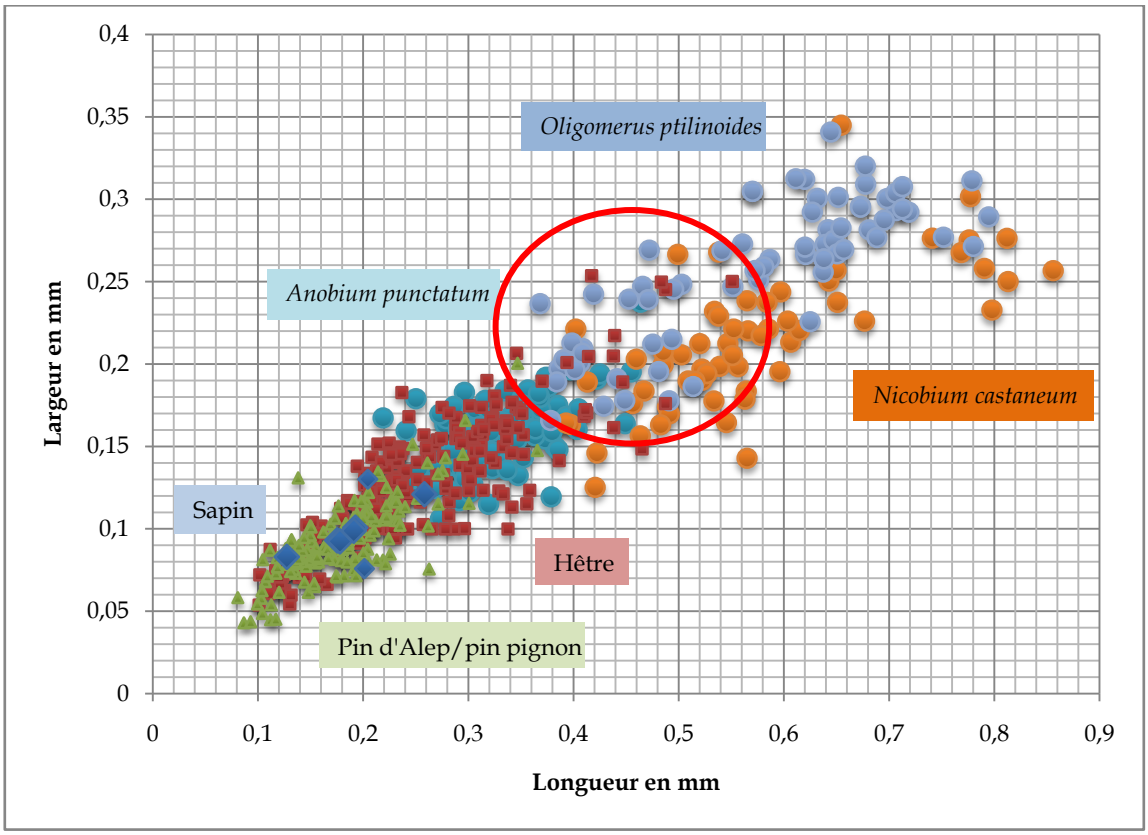
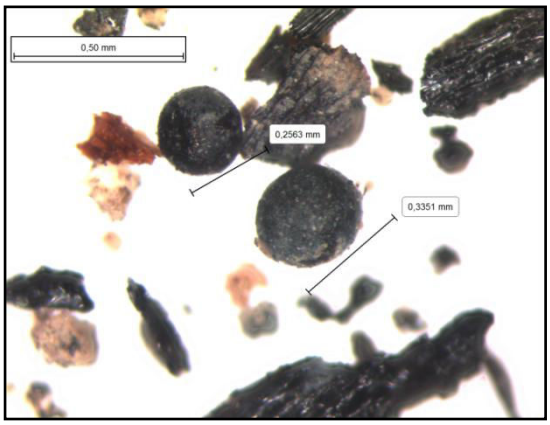


FIGURE 226 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points, observées selon l'essence ligneuse, US 3775 ; Comparaison avec le référentiel des vermoulures fusiformes. Le cercle rouge englobant les vermoulures carbonisées d'*Oligomerus*.



Une anecdote est à noter pour la pièce CH 24 : une galerie de forme irrégulière n'a fourni aucune vermoulure et est donc indéterminable. En revanche à l'intérieur de celle-ci se trouvaient deux graines potentiellement de fumeterre[592] (FIGURE 227). Leur présence soulève l'hypothèse de la présence de fourmis[593] qui auraient stocké ces graines dans les galeries.

FIGURE 227 - Graines observées à l'intérieur d'une galerie indéterminée, CH 24.

Enfin, douze fragments provenant de CH 2, 6, 20 et 27 présentent des arthropodes de type *Scolopendria*, ainsi qu'une vingtaine de fragments avec des hyphes superficiels sur leurs surfaces.

[592] Identification Margaux TILLIER (docteure en archéologie, LabEx ArcHiMedE - CNRS).
[593] Renvoi à la clé d'identification, Volume III, page 14.

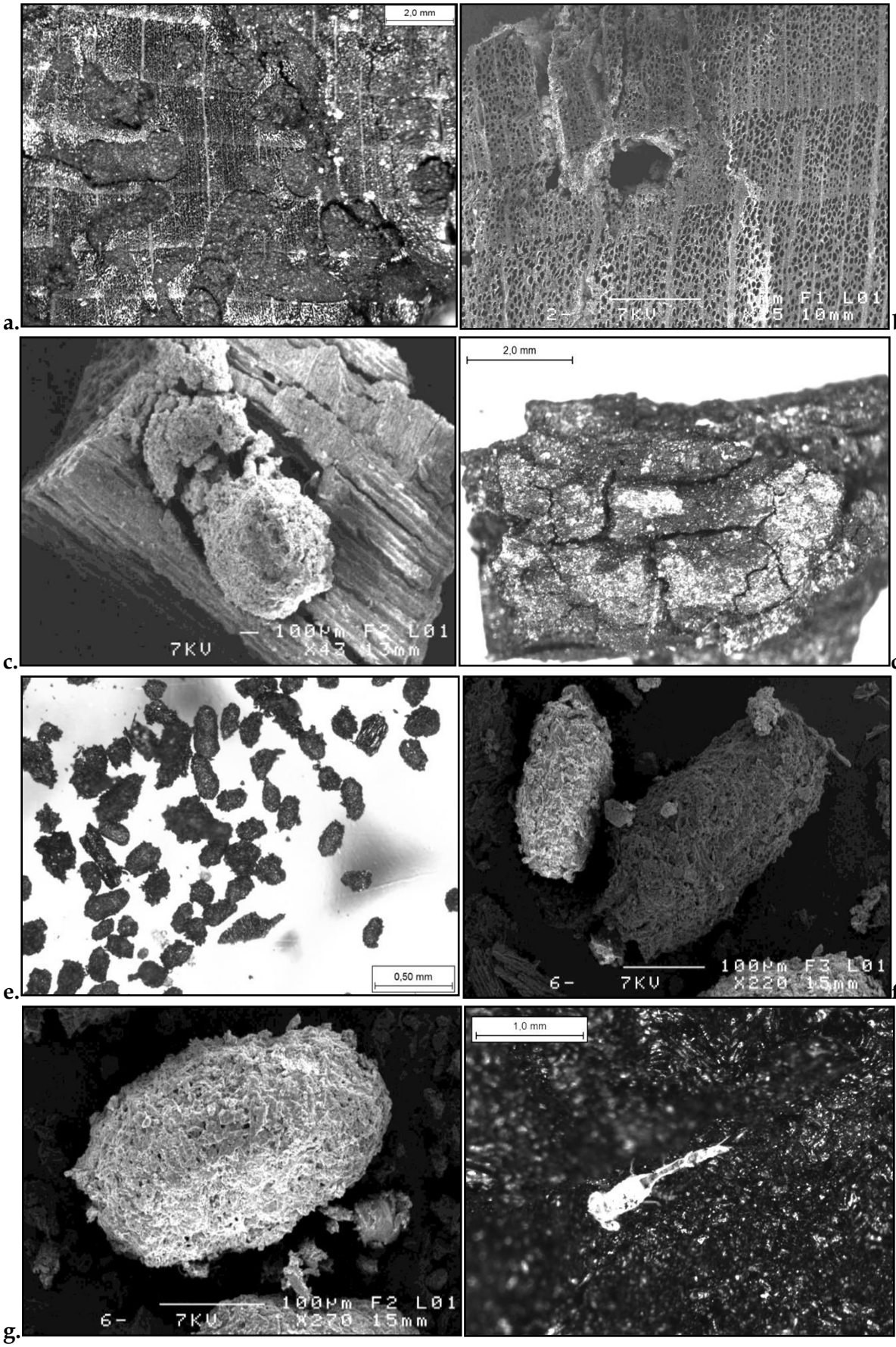


PLANCHE 32 - US 3775 **a à c.** Exemples de galeries type de *Ptinidae*. **d.** Traces de champignon de type pourriture cubique. **e à g.** Vermoulure carbonisée et détails de type *Anobium punctatum* et *Oligomerus ptilinoides*. **h.** Exemple de mue récente de *Scolopendria*.

M. 3969

Cette pièce de bois est très abîmée et n'a fourni que très peu de charbons de bois. Ils restent indéterminables, car détériorés et décomposés par des hyphes de champignons récents.

C. INTERPRÉTATIONS ET SYNTHÈSE

Compte tenu des données archéologiques, dendrologiques, anthracologiques et entomologiques récoltées sur les bois, plusieurs interprétations peuvent être proposées, tant sur l'origine des bois employés que sur l'état sanitaire des structures au moment de leur utilisation. L'objectif de cette partie est de proposer une synthèse sur la chaîne opératoire technique des bois utilisés sur le site archéologique de l'îlot Camelin.

L'origine et le choix des bois de construction

Lors de la première moitié du Ier s. apr. J.-C., pour la construction de l'îlot Camelin et de ses différents bâtiments, les populations ont eu besoin d'effectuer des choix en terme de matière première à utiliser. L'intérêt scientifique se porte évidement sur le choix du bois en tant que bois de construction. L'origine de ces bois questionne sur un éventuel contrôle du territoire et/ou du commerce avec l'arrière pays ainsi qu'une certaine connaissance des ressources naturelles : leur localisation et leurs propriétés mécaniques par exemple.

Il est reconnu que la ville de Fréjus, située en bord de mer, appartient au climat méditerranéen : la végétation y est sèche et signe d'ouverture de l'espace[594]. Le pin d'Alep et le pin pignon sont des essences locales qui sont présentes dans le paysage sous la forme de pinèdes littorales. Le chêne à feuillage caduc et le frêne sont des espèces plus mésophiles. Ce dernier notamment, les pieds dans l'eau, peut être trouvé au niveau de l'embouchure de l'*Argens,* accompagnant une ripisylve (*Alnus, Salix* par exemple)[595].

À l'inverse, le hêtre, le pin de type sylvestre et le sapin sont des essences exogènes qui caractérisent l'étage montagnard[596]. La problématique est de pouvoir déterminer avec précision d'où proviennent ces essences. D'une manière générale, les sapins préfèrent les ubacs, à l'altitude minimum de 700 m d'altitude, alors que les pins de type sylvestre se rencontrent à partir de 400 m et les hêtres vers 600 m d'altitude environ. Les groupements forestiers les plus répandus sur les collines et les reliefs provençaux de l'Est sont les pinèdes calcicoles mésophiles à pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et sapin pectiné (*Abies alba*), les sapinières calcicoles à buis et les hêtraies-sapinières[597]. En revanche, plusieurs recherches récentes tendent à nuancer cet état de fait : pour le Méso et Néolithique ancien par exemple, c'est-à-dire avant un réchauffement climatique, on s'aperçoit que le hêtre jusqu'alors littoral, commence à monter en altitude et à accompagner le sapin[598]. Ces essences ont connu une

[594] OZENDA 1981, RFO Fréjus.
[595] DUBAR ET *AL*. 2011.
[596] VERNET 1994 ; DURAND, VERNET 1987.
[597] GUILLON 2014, 36-37.
[598] GUILLON 2014, 96.

diffusion à plus basse altitude durant l'Holocène à l'aide de conditions climatiques plus fraîches[599]. De même, le sapin a également été localisé pour des périodes anciennes à altitude plus basse que prévue pour la région de Montpellier. En résumé, les sapins, les pins de type sylvestre et les hêtres choisis pour les constructions de l'îlot Camelin peuvent provenir soit de plus loin au nord des Alpes, soit de certains secteurs des pré-Alpes et de l'arrière-pays varois, notamment à partir du village de Mons (Var) situé à 814 m d'altitude et à un peu moins de 30 km à vol d'oiseau de Fréjus. C'est de là, notamment, que démarre l'aqueduc romain descendant à *Forum Iulii* en passant par la plaine de Montauroux et par l'actuel lac de Saint-Cassien. Fort de ces données, on pourrait avoir tendance à dire qu'il s'agit de bois alpin, or il y avait peut-être des populations de sapins et de hêtres plus proches de la mer qu'aujourd'hui[600].

Les hypothèses sur le transport des bois une fois abattus tendent vers la même solution, qu'il s'agisse de bois alpins ou de bois provenant de l'arrière-pays. En effet, l'arrivée du bois brut dans la ville par voie d'eau semble être la manière la plus simple : soit par flottage dans les rivières, notamment l'*Argens*, soit par bateau avec un déchargement au port. Toutefois, aucune indication sur la méthode d'approvisionnement de la ville en bois n'a été retrouvée à l'heure actuelle.

Parmi les 13 structures en bois analysées, quatre d'entre elles sont construites exclusivement avec des essences locales telles que les US 3021, 3248, 3329, 3585. À l'inverse, les US 1006, 1078 et 3766 sont essentiellement composées d'essences exogènes aux alentours de *Forum Iulii*. Par ailleurs, certaines structures comme 3329, 3495, 3527 et 3775, présentent une composition plus complexe car les essences utilisées sont mixtes, c'est-à-dire des constructions élaborées à partir de bois d'origine locale et de bois exogènes. Enfin, l'élément 3969 n'a pas fourni de charbon conservé (TABLEAU 251).

Exogène			Locale			
hêtre	**pin de type sylvestre**	**sapin**	**chêne f.c.**	**frêne**	**pin d'Alep**	**pin pignon**
3007	3007	1006	3021	3248	3007	3495
3766	3775	1078	3329	3329	3229	3527
3775	-	3007	3775	-	3329	-
-	-	3229	-	-	3495	-
-	-	3495	-	-	3527	-
-	-	3527	-	-	3585	-
-	-	3766	-	-	3775	-
-	-	3775	-	-	-	-

TABLEAU 251 - Répartition des structures architecturales par essences ligneuses exogènes ou locales.

Comme exposé en détail précédemment, trois essences sont principalement employées dans la construction : le sapin (39 %), le pin d'Alep/p. pignon (26 %) et le hêtre (17 %). D'autres éléments de structure sont en chêne F.C. (3 %), en pin de type sylvestre (3 %), en pin pignon (3 %) et en frêne (2 %). Les autres essences représentées[601] sont sans doute à associer à d'autres types de structures non architecturales (7 %). Enfin, les fragments indéterminables représentent 3 % de l'ensemble (FIGURE 228).

[599] CHABAL 1999.
[600] BRITTON *ET AL.* 2007, 69.
[601] Pour la structure 3775, correspondant vraisemblablement à des restes de fagots de bois, *cf. supra*.

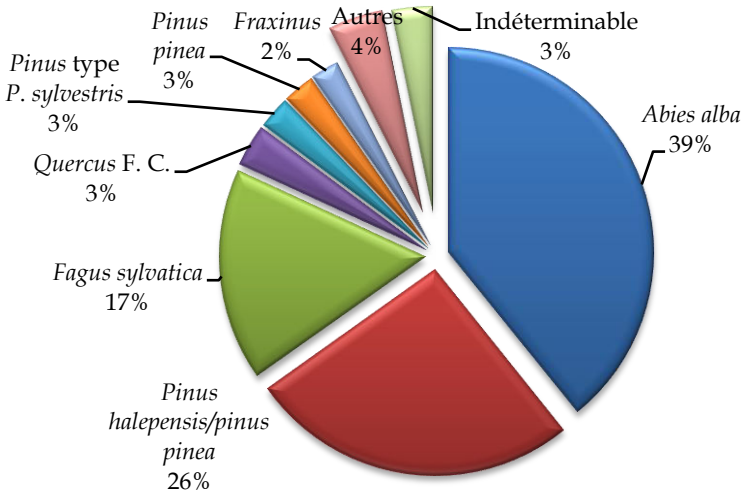


FIGURE 228 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein des bois architecturaux.

Selon les données archéoentomologiques, les bois choisis proviennent d'arbres en bonne santé, car les traces d'insectes présentes dans les bois archéologiques ne sont pas produites par des individus attaquant typiquement les bois vivants. De plus, les quelques tests dendrochronologiques, bien qu'ils ne permettent pas de dater les structures, signalent une tendance à l'utilisation de bois relativement jeune ou, en tout cas, à des bois ayant eu une croissance suffisamment importante pour atteindre des dimensions intéressantes pour la construction. Effectivement, mis à part un élément en hêtre ayant 42 ans, la moyenne d'âge des bois mis au jour est d'une vingtaine d'années. Les insectes de bois frais vont privilégier les bois âgés, malades ou dépérissants. Leur absence ne signifie pas que les forêts d'approvisionnement sont forcément saines, c'est un élément supplémentaire qui souligne l'importance de la qualité du bois voulu pour la construction.

Ces bois (hêtre, pin, sapin), biens connus des auteurs antiques comme Vitruve et Pline l'Ancien[602], sont selon eux, de bons bois d'œuvre : il n'est donc pas étonnant qu'ils aient été utilisés pour les constructions à *Forum Julii*. Seule la question de la gestion (transport et commerce) des bois dits exogènes demeure. Il est intéressant de voir que le chêne, pourtant présent dans le secteur, n'est que très peu utilisé.

Du bois naturel à la structure bâtie : le travail des pièces ouvragées

Les bois choisis et apportés sur place ont été par la suite travaillés avant d'être mis en œuvre dans l'architecture de l'îlot. Ces structures ainsi identifiées aident à mieux percevoir le travail dont le bois a bénéficié ou non : s'agit-il de bois brut ou de bois travaillé ? L'intérêt se focalise sur le type de découpe et d'éventuelles traces d'outils. Toutefois, il convient de noter que l'observation sur le terrain et en laboratoire de ces marques s'avère particulièrement difficile sur du bois carbonisé[603]. Les hypothèses exposées ci-après relèvent principalement des observations effectuées sur le terrain : mesures générales des pièces, sens du fil du bois et orientation des éléments carbonisés par rapport à l'ensemble de la structure.

La majorité des ensembles carbonisés est constituée de planches débitées dans le sens du fil du bois, mais pas uniquement. En effet, les structures sont généralement composées de planches liées à des pièces de dimensions plus importantes suggérant des poutres, des

[602] *Cf.* Chapitre I, pages 35.
[603] Contrairement à du bois gorgé d'eau comme on le verra pour le site de Rezé Saint-Lupien.

sablières[604] ou encore des lambourdes. Quelques éléments, concernant les structures 1006 et 3007 principalement, sont sous forme de bûche. Autrement dit, il s'agit de pièces de bois non équarries et écorcées (billes). Seules les structures 3229 et 3495 incluent des éléments carbonisés trop indistincts de par leur forme pour être interprétées, sans doute en raison de la carbonisation qui n'a pas été assez forte ou longue (TABLEAU 252).

Bois brut	Bois équarri/ Travaillé			Indéterminés
bûche	poutre/ sablière basse	petite poutre/ lambourde	planche	
1006	1078	3495 ?	1006	3229
3007	3495	3775	1078	3495
3021	3527	-	3007	-
3229	3766	-	3229	-
3329	3775	-	3248	-
3495	3969	-	3329	-
-	-	-	3495	-
-	-	-	3527	-
-	-	-	3766	-
-	-	-	3775	-

TABLEAU 252 - Types de coupe et travail du bois sur les structures ouvragées.

Hypothèses sur les fonctions des structures

À partir de toutes les données accumulées, les bois mis au jour pour l'ensemble de l'îlot Camelin correspondent à plusieurs structures. Les liens entre celles-ci restent parfois assez difficiles à établir.

- Des cloisons verticales en bois ou en architecture de terre et de bois

Le premier type de construction qu'il est possible d'observer se rapporte à des parois ou murs en bois pour les US 1006 et 1078 ainsi qu'à un exemple de mur construit en terre et en bois (3585 et 3969).

La première structure, l'US 1006, peut être interprétée comme étant une paroi effondrée en sapin et conservée sur 2,60 m par 1,70 m. Cette essence est peu résistante mais bien adaptée à la confection de paroi. Le bois de compression est faible, indiquant que les bois ont poussé sur des surfaces assez planes. 1006 semble être encadrée par du mortier (FIGURE 229). Or la structure reste complexe et trop floue pour pouvoir proposer une restitution : on ne sait pas sur quoi la paroi reposait (un solin de pierre, une sablière en bois ?) ni la fonction de cette paroi (délimitation d'une pièce par exemple) en raison d'un arasement important du secteur.

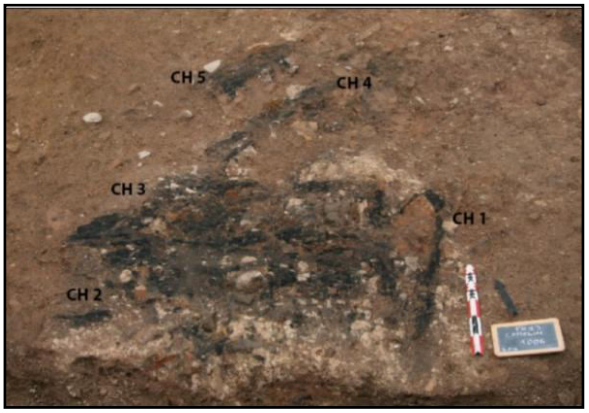
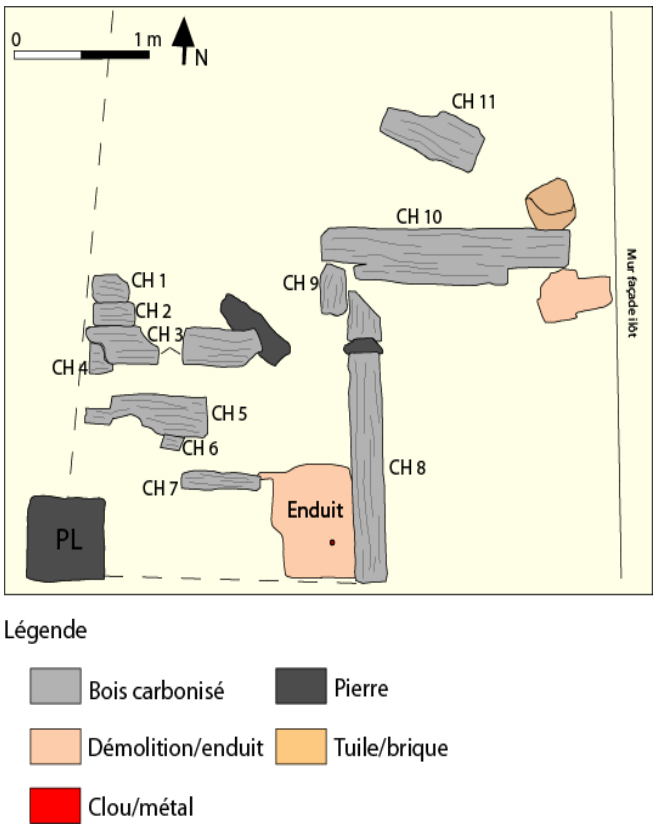


FIGURE 229 - Vue de l'US 1006, cl. SAPVF.

[604] Poutre et sablières (largeur supérieure à 20 cm), lambourde ou petite poutre (largeur inférieure à 20 cm).



L'US 1078 relève également d'une paroi verticale en sapin, de 3,60 m sur 3,10 m, de par la présence de sablières basses en sapin (CH 8, 9 et 10) et de planches (CH 1 à 7 et CH 11) liées entre elles par des clous, des amas de mortier, des enduits peints et de quelques blocs (FIGURE 230). La structure 1078 semble dresser un angle en bois formant ainsi une pièce à fonction inconnue tournant le dos à la rue située à l'ouest et délimitée par le pilier. La suite de la pièce formée par cette structure fut détruite par des constructions plus tardives à l'est.

FIGURE 230 - Schéma de l'US 1078.

Les pièces de bois correspondant aux US 3585 et 3969 sont directement liées avec la construction de la paroi en briques de terre crue MR 3600 et MR 3601[605]. En effet, l'élévation de la paroi se décline en commençant par une fondation de type solin de pierre, surmontée d'une succession de briques de terre crue en alternance avec des petits poteaux à section carrée en bois verticaux (pin d'Alep), dont une restitution est proposée (FIGURE 231). L'ensemble est ensuite recouvert, de part et d'autre de la paroi, de terre plaquée sur les briques[606] ainsi qu'en calage pour les poteaux. Enfin, des accroches d'enduits et des enduits peints ornent la paroi[607].

[605] Les deux murs sont alignés mais séparés par un caniveau plus récent, d'où l'attribution de deux numéros. Or il s'agit d'un seul et même mur.
[606] Briques de taille très régulière : 40 x 27 cm.
[607] Étude effectuée par Ophélie VAUXION, chercheuse associée au Centre Jean Bérard, à paraître (RFO SAPVF).

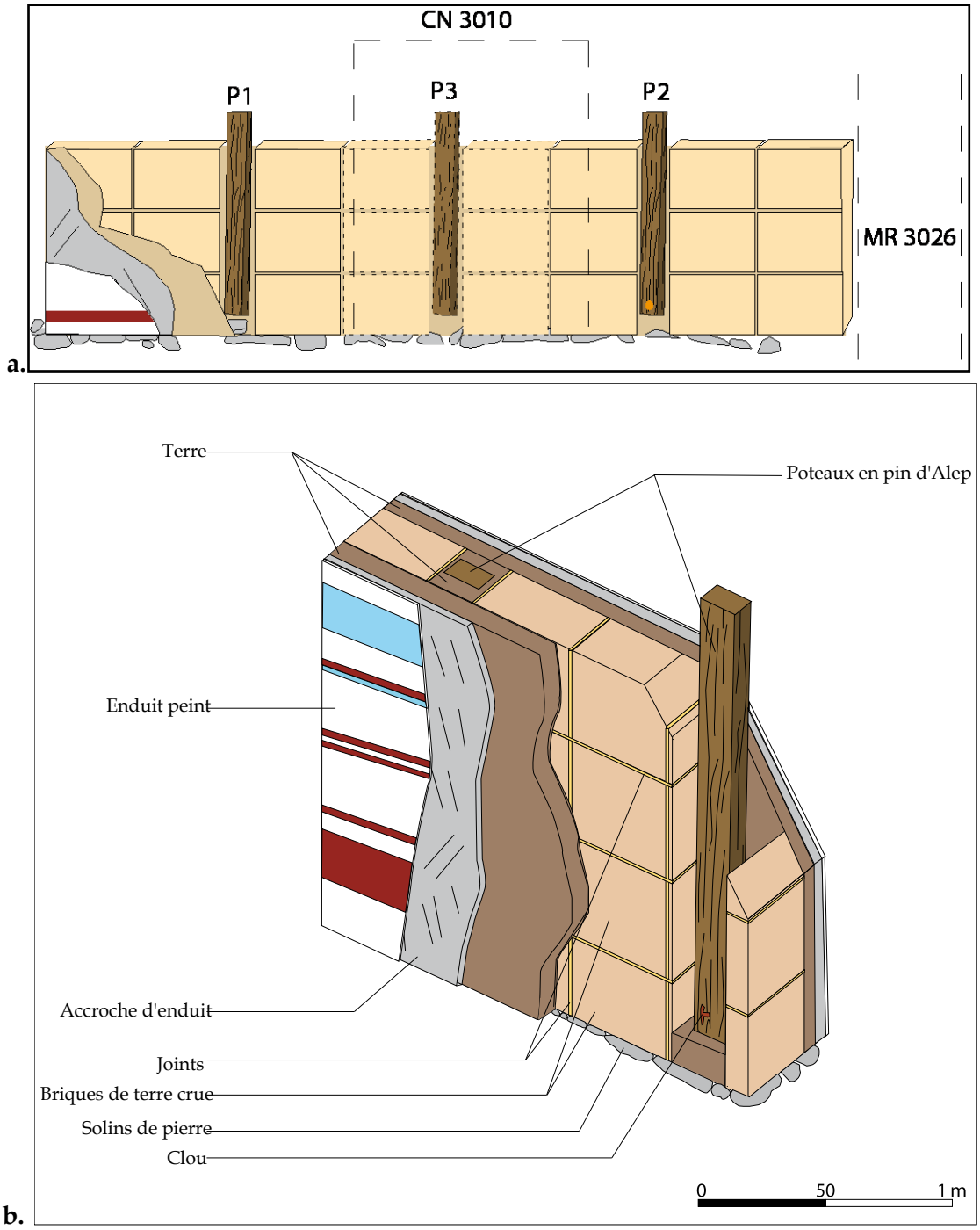


FIGURE 231 - Proposition de restitution du mur 3600 et 3601. **a.** Restitution schématique de face avec visualisation des briques de terre crue séparant les poteaux en pin. **b.** Écorché général de l'ensemble de la structure. DAO M. TORITI, 2017.

Sur le long de la paroi, deux trous de poteaux P1 et P2, sont conservés (FIGURE 232). Ils sont situés à 1,80 m l'un de l'autre. P1 fait 14 x 13 cm et 22 cm de profondeur et P2 14 x 12 cm et 16 cm de profondeur. De plus, ce dernier présente un clou à sa base de 7 cm de long. Les pièces de bois de pin d'Alep/pin pignon situés à la base du mur, sont probablement ces poteaux qui ont brûlé lors de l'incendie du Ier s. apr. J.-C. Il est à noter que 3969 semble ne pas avoir brûlé complètement ce qui explique l'analyse anthracologique négative. La paroi en brique en brûlant a peut-être protégé le bois avant de s'effondrer.

FIGURE 232 - Vue depuis le sud des deux trous de poteau conservé (P1 à gauche et P2 au centre) et exemple d'une brique de terre crue et son accroche d'enduit, cl. SAPVF.

Postérieurement à la paroi, un caniveau a été construit, CN 3010, détruisant une section de cette paroi sur son passage et induisant ainsi l'existence d'un troisième poteau placé entre les deux autres (FIGURE 233). En restitution, il y aurait ainsi un poteau (P1), de 14 cm de large, deux briques de 40 cm de long, un autre poteau d'environ 14 cm de large, à nouveau deux briques de terre crue, puis le poteau P2 faisant aussi entre 12 et 14 cm de large. Avec cette disposition la distance initiale entre P1 et P2 est parfaitement respectée : 1,80 m.

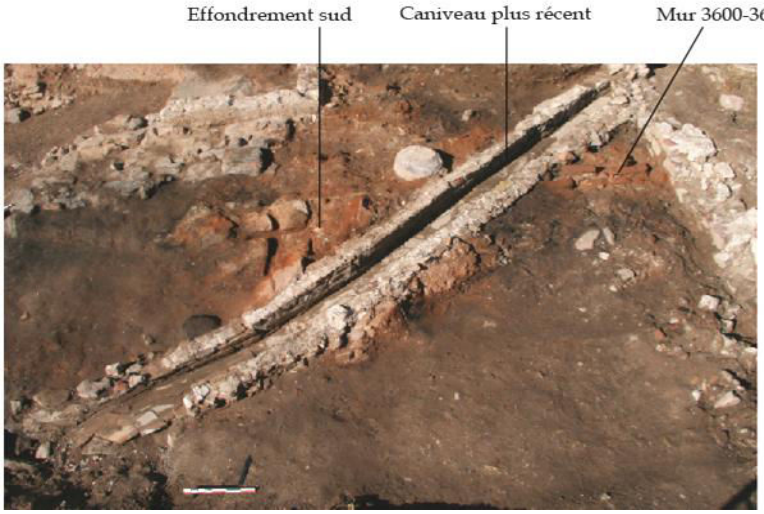


FIGURE 233 - Vue depuis le sud de l'ensemble du secteur, cl. SAPVF.

Il est difficile de reconstituer la hauteur initiale de la paroi. Sur une surface de 3 m vers le sud, des clous et des briques brûlées sont disposés de manière éparse. D'autre part, une ligne de briques de terre crue brûlées avec des enduits peints bien conservés, est en place sur les fondations en pierre. Vient ensuite des briques penchées contre la paroi, comme si elles avaient glissées pour venir se bloquer contre la base (FIGURE 234).

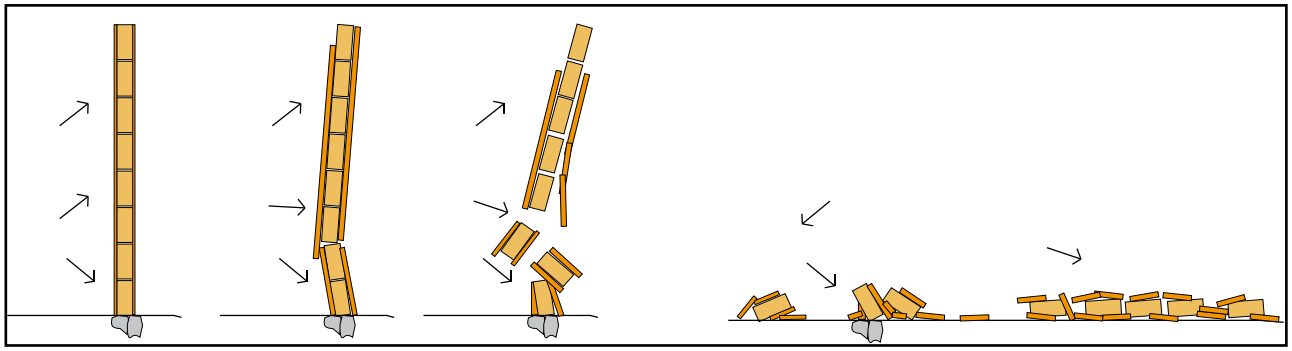


FIGURE 234 - Proposition de restitution de l'effondrement du mur 3600-3601 par étape (fracture du mur, glissement du deuxième niveau de brique et affaissement des enduits, éboulement vers le sud (la pente) de la hauteur). DAO. M. TORITI.

- Une estrade ou un gradin en bois ?

Au nord-est du site, à la limite entre l'îlot d'habitation et la voirie romaine se dresse une structure en bois d'au moins 5 m de long pour 1 m de large. Compte tenu des limites de la fouille, la structure n'a pas pu être observée dans son intégralité. Cette construction, coupée en deux par un mur plus tardif[608], se compose ainsi des bois provenant des US 3495 et 3527.

La partie de la construction 3495 est parfaitement alignée avec la partie 3527 (FIGURE 235). Les échantillons analysés ont les mêmes caractéristiques générales : bois de compression, vitrification et calcification. La sablière en sapin (CH 1) est un bois massif et de bonne qualité. L'importance de la dimension de cette pièce appuie l'hypothèse qu'il s'agit d'un tronc d'arbre équarri d'au moins 29 cm de diamètre, ayant poussé sur une pente douce à moyenne. Or il présente très peu de cernes (moins de 20). Il s'agit donc d'un bois jeune avec de bonnes dimensions, ce qui soulève l'idée d'un arbre ayant poussé dans un environnement faiblement peuplé par d'autres arbres.

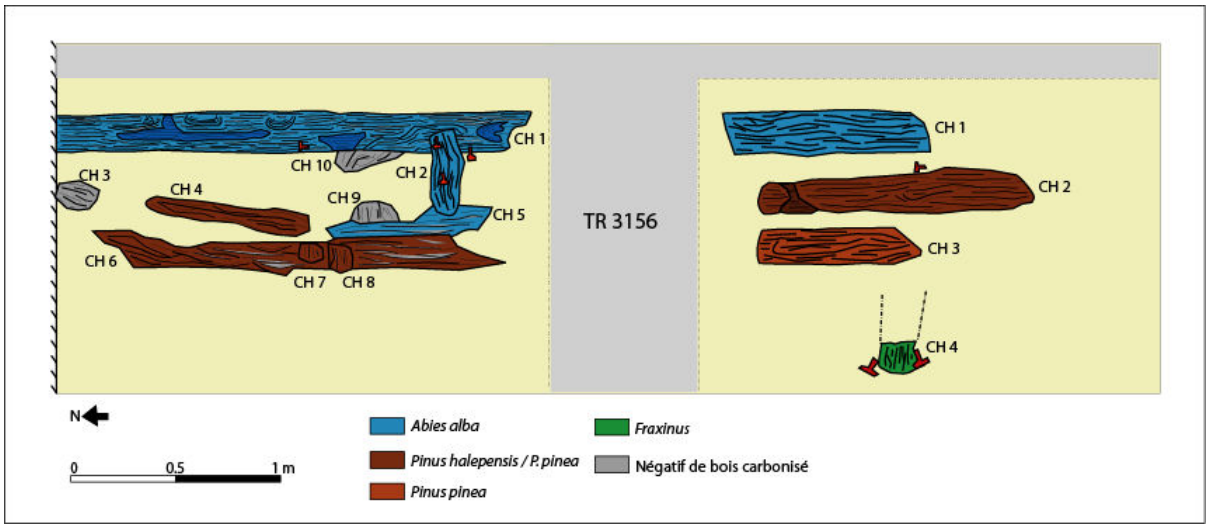


FIGURE 235 - Schéma regroupant les structures 3495 et 3527, l'alignement des pièces et les essences ligneuses en présence. DAO. M. TORITI.

Les bois 3495 et 3527 forment un aménagement, bien ancrés au sol et en place, orienté nord-sud. Le sol, sur lequel reposent les bois, est régulier. La partie ouest du secteur semble être une cave incendiée, encadrée par des piliers d'un bloc ou de briques. La structure se répartie le long de la rue et hors de la cave. L'assemblage des pièces semblent être mixtes sapin, pin d'Alep/pignon et frêne. Il a d'une part des clous reliant ainsi CH 2 et CH 1 (3495) et d'autre part CH 1 (3495) et CH 2 (3527) cette structure dispose de petites sections surcreusées (entre 10 et 20 cm) pouvant s'apparenter à des mortaises. Ces dernières pourraient avoir pour fonction de soutenir d'autres pièces de bois qui n'auraient pas brûlé. Les observations de terrain et les analyses soulèvent l'idée d'une estrade, ou d'un socle en bois pouvant supporter quelque chose de lourd (mortaises), d'une surélévation du sol ou encore un gradin situé le long de la rue (FIGURE 236).

[608] Mur qui fut épierré lors de la phase 4 (Ve s. apr. J.-C.) et noté TR 3156 (RFO en cours).

FIGURE 236 - Vue de la structure 3495-3527 depuis le nord, cl. SAPVF.

- Des planchers

Au sein de l'îlot, deux structures s'apparentent à des planchers de facture différente, US 3007 et US 3775.

La structure 3007, après confrontation des données, a une disposition des essences et surtout un agencement et une superposition des éléments (planches, bûches, clous...) venant confirmer l'hypothèse d'un petit plancher (FIGURE 166 a et b, page 315). Seule la pièce CH 2 est composée d'une essence locale (pin d'Alep). Serait-ce une trace résiduelle d'un objet ou une éventuelle réparation afin de mieux lier CH 3 et CH 5 ? Cette deuxième idée semble se confirmer par la présence de six clous à section carrée transversaux liant ces trois éléments. Le plancher 3007 est conservé sur environ 1 m². Le secteur de fouille dans lequel il a été mis au jour est difficile à lire en raison d'un très grand nombre de remaniements. Ainsi, la fonction de la pièce demeure hypothétique.

En revanche, il n'en est pas de même pour le plancher 3775. En effet, l'agencement des 27 bois carbonisés identifiables sur le terrain, ainsi que les objets archéologiques découverts, rendent cette structure plus lisible. L'ensemble de ces éléments forment une armature homogène en hêtre et en sapin. CH 20 et éventuellement CH 27 sont assimilables à des sablières[609], alors que CH 21, CH 22 et CH 23 correspondraient plutôt à des lambourdes. L'élément en chêne F.C. (CH 16), aligné avec CH 23 pourrait être une réparation (*cf. supra* sur l'interprétation des attaques xylophages).

Cette armature est recouverte de plusieurs petites pièces de bois, orientées nord-sud, en pin d'Alep/pin pignon[610] qui se sont effondrées sous le poids de la démolition du plafond et des murs. En raison de la compression du bois visible au microscope, les résineux ont sans doute poussé en pente, ou sont peut être issus de grosses branches. La démolition de la pièce est composée d'enduits, de *tegulae*, de la charpente (*cf. infra*, 3766). Les pièces CH 4-6-14-15-17 sont également des planches, sauf CH 4 (bûche) mais pour lesquelles le hêtre est majoritaire, suivi du pin d'Alep. Pour CH 6-14 et 15, le risque à l'analyse est le mélange avec d'éventuels fragments provenant de CH 20, qui aurait éclaté lors de la démolition. L'identification

[609] Pour une bonne construction, il manquerait une sablière à l'ouest (non brûlée ?).
[610] CH 1-2-3-5-7-8-10-11-12-13-18-24-25-26

fonctionnelle de ces pièces se doit donc d'être réalisée avec prudence. La planche CH 9 est entièrement en sapin, et forme avec CH 7-8 et 10 un alignement très bien délimité de planches reposant directement sur le sol SL 3780 (FIGURE 211, *cf. supra* ; FIGURE 237). La bûche en pin de type sylvestre CH 19 est isolée du reste de la structure, mais est toutefois alignée avec les planches précédentes.

D'autres taxons présents sont en revanche faiblement représentés (aulne, frêne, érable... *cf. supra*). Cet état de fait pose le souci de leur provenance et de leur fonction. S'agissant de brindilles possédant leur écorce pour la majorité et accompagnés de cordage, ces fragments sont pour l'heure interprétés comme étant du petit bois stockés, peut-être sous la forme de fagots.

L'US 3775 est une structure d'envergure fouillée en quelques jours, à une semaine de la fin du chantier de six mois mais il est toutefois possible de la comprendre. Le plancher se situe dans une pièce décorée d'enduits peints où est stocké un potentiel pain, des bois non écorcés sous forme de fagots, des pignons, des pommes de pain, des pesons et divers tissus carbonisés (FIGURE 238 a et b).

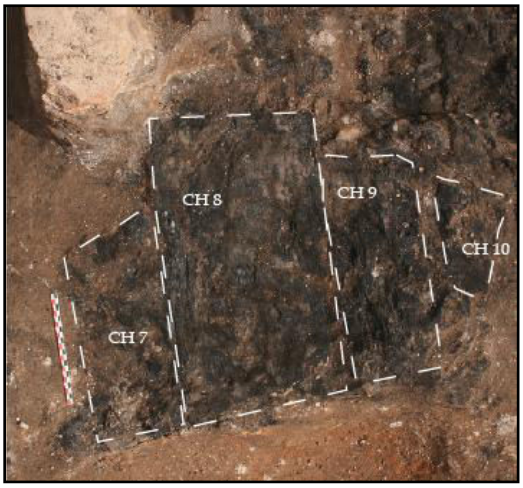


FIGURE 237 - Vue des pièces CH 7 à 10, cl. SAPVF.

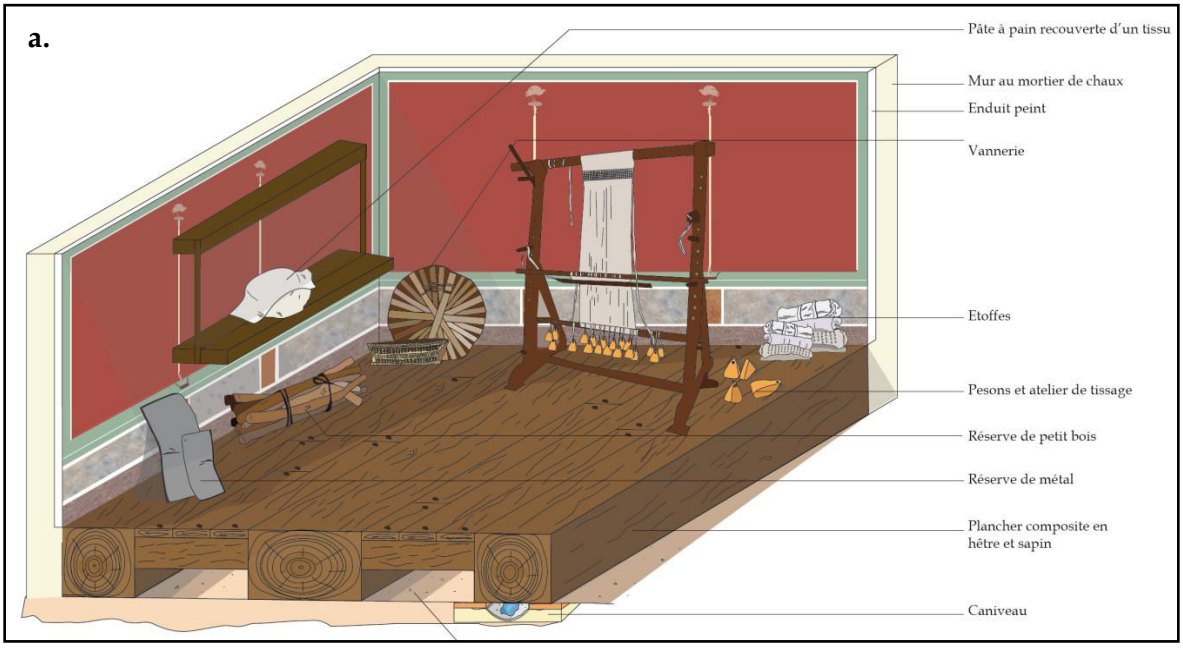


FIGURE 238 - a. Hypothèse de restitution de la pièce de stockage, DAO M. TORITI. **b.** Proposition de restitution du plancher et du décor dans le cadre de l'exposition «Habiter *Forum Iulii*», octobre-novembre 2017, ©EDIKOM.

Enfin, une des problématiques du plancher 3775 est de savoir s'il s'agissait d'un plancher situé en hauteur ou posé au sol. Lors de la fouille, les planches en pin ont été retrouvées effondrées sur elles-mêmes entre les lambourdes. Ces dernières, ainsi que les poutres principales en hêtre, ne semblent guère avoir bougées, mais elles ne sont pas ancrées dans le sol non plus. D'autre part, les enduits peints de la pièce fournissent des indications utiles à l'interprétation[611]. En effet, une absence de peinture sur quelques dizaines de centimètre à partir du sol est constatée. Ce vide pourrait correspondre à la hauteur du plancher lorsqu'il a été installé, avant de peindre ces enduits. Il s'agirait plutôt d'un plancher légèrement surélevé, pour peut-être installer un vide sanitaire et en l'occurrence, on constate la présence d'un petit caniveau, orienté nord-sud, sous la partie est du plancher (CH 27).

- Des éléments de charpente

L'ensemble de l'îlot Camelin a fourni des vestiges particulièrement arasés sur leur sommet. Les couvertures des bâtiments sont donc difficilement identifiables. Toutefois, outre les *tegulae*, quelques indices en bois ont été mis en évidence.

La bûche 3021 est située sur la cloison en brique 3479, au nord-est du site, ainsi que dans un niveau de remblai divers (briques, enduits peint, nombreux clous, morceau de paroi en brique…), il est difficile de confirmer sa fonction et sa provenance en tant qu'élément d'architecture, peut-être des restes de charpente. De bonnes dimensions, elle a toutefois été observée.

Dans un autre secteur, celui du plancher 3775, il a été mis au jour des bois (3766) au sein de la démolition des murs et du plafond de la pièce. Sans organisation spatiale particulière, ces éléments en bois sont très probablement liés à une couverture en sapin et en hêtre effondrée.

[611] Étude Ophélie VAUXION.

- Le fonctionnement de la meule ML 3252

Les bois carbonisés provenant des US 3329 et 3248 semblent être en lien avec la meule ML 3252. Il pourrait s'agir d'un système de fonctionnement de la meule en bois mixte (frêne, chêne F.C. et pin d'Alep), pour lever et faire tourner la partie haute avec ou sans l'aide du bloc situé à proximité. Connaissant assez peu ce domaine et étant une structure complexe et flou, il n'est, pour l'heure, pas envisageable de proposer une restitution (FIGURE 239).

FIGURE 239 - Vue de la meule 3252 et de la structure carbonisée 3329-3248, cl. SAPVF.

- Une structure à fonction indéterminée

À la fouille, l'US 3229 semblait être une structure désorganisée, peut-être des restes d'une couverture du sol 3008. Mais, grâce à l'analyse anthracologique, on peut écarter cette hypothèse. En effet, SL 3008 est un sol bétonné en pente et débouche sur un caniveau CN 3270. L'ensemble des prélèvements ne révèlent pas de structure précise et ne sont pas non plus liés entre eux par des clous. Cependant, parmi les échantillons, il y a probablement des éléments d'architecture, notamment pour les éléments en sapin. Or, il y a aussi des bois pouvant avoir plusieurs usages possibles comme le pin d'Alep/pin pignon et la bruyère. La majeure partie des échantillons se trouvent dans l'angle que forme SL 3008 et sont accompagnés de débris divers (poterie, objets métalliques, monnaies, mortier, *tegulae*, etc.). L'ensemble peut alors faire penser à une accumulation de déchets, notamment en bois de différentes origines et fonction. Ces bois se seraient retrouvés sur le sol, emportés par de l'eau et coincés à l'entrée du caniveau CN 3270, trop étroite (FIGURE 240).

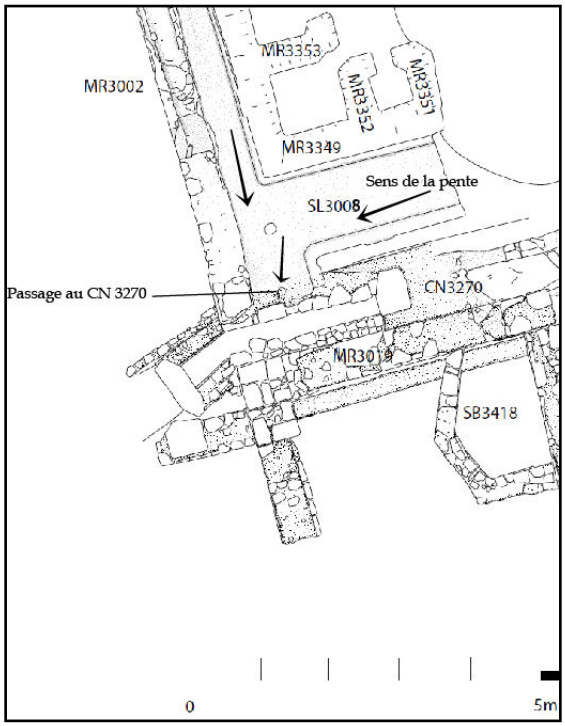


FIGURE 240 - Plan du secteur de l'US 3229, sens de la pente du sol bétonné 3008, DAO SAPVF.

Pour résumer, les prélèvements précédemment décrits, sont ainsi associés à des éléments de charpentes, d'une structure de type estrade, des parois ou poteaux composant des parois verticales, des planchers, d'une structure permettant à une meule de fonctionner (mécanisme en bois) ou encore à des structures dont la fonction demeure indéterminée (TABLEAU 253).

Charpente	Gradin/estrade	Paroi/ cloison verticale	Plancher	Structure fonctionnelle liée à la meule ML 3252	Autres
3021 ?	3495	1006	3007	3248	3229
3229 ?	3527	1078	3775	3329	-
3766	-	3585	-	-	-
-	-	3969	-	-	-

TABLEAU 253 - Bilan des hypothèses des types de structures en bois identifiées.

L'état sanitaire des bois d'œuvre

Les insectes xylophages sont attestés sur une grande partie des bois de construction de l'îlot Camelin. La diversité des espèces attaquantes (charançons, vrillette commune, vrillette brune...) et celle des essences infestées (pin d'Alep, sapin, chêne, hêtre) sont des indications importantes pour d'approfondir certaines hypothèses archéologiques.

La connaissance de la bioécologie des espèces et familles ravageuses mises en évidence témoigne d'infestations des bois au moment de leur utilisation dans l'architecture. En raison de la connaissance de l'espèce, on sait que les individus concernés n'ont pas infesté les bois lors de la croissance des arbres, ni au moment du stockage des bois ou de son travail.

- Des structures saines ?

Durant l'analyse, certaines structures comme les poteaux 3969 et 3585, le mécanisme de la meule (3329 et 3248), les bois « dépotoir » 3229 ou encore la bûche 3021 n'ont présenté aucune galerie. Mais sont-ce pour autant des structures saines ou cet état de fait est-il plutôt lié à un problème de conservation des vestiges ? Il s'agit d'une question primordiale pour une analyse entomologique, mais à laquelle il est difficile de répondre dans cette étude de cas. Il est d'autant plus difficile d'y répondre que les bois de ces mêmes structures sont ancrés dans des contextes archéologiques flous (arasements, niveau de démolition de taille importante...).

Par ailleurs, la paroi en bois 1006 contient de très rares galeries. Doit-on alors considérer cette structure comme infestée de manière très faible ? D'autres parties de la structure n'ayant peut-être pas brûlé auraient pu être totalement infestées ou non. Les hypothèses peuvent être avancées avec plus d'aisance et de précision lorsque les structures sont complètes et dans des contextes archéologiques bien appréhendés.

Dans le cas des poteaux, le problème de conservation des éléments carbonisés dû certainement à une carbonisation incomplète de 3969 est à retenir. Toutefois, le bon état sanitaire des pièces de bois, c'est-à-dire l'absence d'infestation, est rendu possible si l'on tient compte qu'elles sont, à l'origine, prise dans l'architecture en brique de terre crue. Les poteaux auraient ainsi été protégés d'éventuelles attaques d'insectes, mais aussi d'une carbonisation totale.

- Les charançons, un problème d'humidité ?

La famille de xylophages la plus représentée est celles des *Cossoninae* ou charançons du bois[612]. Présents sur la paroi 1078, le plancher 3007, et la structure 3495-3527, leurs attaques soulèvent plusieurs cas de figure possibles : la présence de bois morts ou d'une importante

[612] *Cf.* Volume III, pages 73.

humidité du bois ouvré. Pour les structures se situant au sein d'une ville, l'hypothèse la plus probable reste celle de l'humidité. Mais les structures infestées par ces individus ne sont pas pour autant à l'air libre, faisant face aux intempéries. Par exemple, actuellement, ce type d'infestation peut avoir lieu au sein d'une maison dont le sol a été inondé à plus ou moins grande échelle, le ravageur pénétrant alors dans les bois par les plinthes.

Le plancher 3007 et la potentielle estrade 3495-3527 sont composés de bois posés à même le sol. Ce dernier, de l'argile très compacte[613], a pu retenir de l'eau pendant suffisamment de temps pour que les bois deviennent attractifs pour cette famille. Pour 3007, l'infestation semble démarrer par le sommet de la structure et donc par la partie servant à la circulation (FIGURE 189). Cet état de fait est difficilement appréciable pour 3495-3527 car l'infestation, sur une pièce de bois, semble plus généralisée et n'est pas localisée sur une partie spécifique du bois. Il faut également noter que le plancher 3007 est une structure de plus petites dimensions que 3495-3527, or elle est proportionnellement plus infestée (92,7 % contre 48,1 %). Toutefois, il n'est, pour l'heure, pas possible de savoir si ces attaques ont eu lieu simultanément ou non.

En revanche, en ce qui concerne la paroi 1078, l'infestation trouve sont origine à partir de la sablière basse CH 8. Elle constitue la pièce la plus infestée et est également une pièce posée à même le sol. Les insectes se répandent par la suite au sein des planches 1, 3 et 5 (FIGURE 184). L'ensemble est infesté à 24,6 %.

Pour ces trois ensembles, compte tenu du nombre important de galeries ainsi que leurs recoupements successifs[614], on en déduit la présence de plusieurs générations d'insectes sans pour autant pouvoir les dénombrer avec précision. Le cycle évolutif des *Cossoninae* dure de quelques mois à un an maximum, mais il est impossible pour l'heure de faire une estimation.

- Une pièce de stockage infestée par les vrillettes

Considérées comme sinanthropes et spécialisée dans l'attaque des bois secs, la présence des espèces de *Ptinidae*, n'est pas étonnante pour le bois ouvragé. Selon Philippe PONEL[615] ainsi que d'autres auteurs, la petite vrillette est inhérente à tout élément en bois : architecturé ou sous forme de mobilier[616].

Au sein du secteur U, les restes de charpente 3766 ainsi que le plancher 3775 sont envahis par la famille des « petites vrillettes » à respectivement 27,5 % et 35,2 %. Ces deux structures sont contemporaines et ont été incendiées en même temps. Les éléments de toiture 3766 étant partiellement arasés, il est difficile d'établir un état général du bois hormis le fait qu'il était infesté. Son effondrement a, en revanche, bien préservé le plancher situé dessous. En effet, sa bonne conservation conduit à appréhender la succession des événements qui se sont déroulés dans le bâtiment (FIGURE 222).

613 Argile, qui a d'ailleurs participé à l'inondation du site à plusieurs reprises lors de la fouille, faisant des « cuvettes ».
614 *Cf.* Chapitre II, calcul du nombre de générations, pages 99.
615 Source orale.
616 FAUNA IBERICA 1992 ; CTBA 1996 ; LACLOS, BÜCHE 2008.

FIGURE 241 - Vue du caniveau CN 3812, après la fouille du plancher 3775, secteur U cl. SAPVF.

Quelques temps[617] après la construction de la pièce servant probablement de stockage (*cf. supra*), le caniveau CN 3812, situé sous la sablière CH 27, a apporté, de façon régulière, suffisamment d'humidité au bois pour que s'y développe un champignon de type pourriture cubique (FIGURE 241). La présence de ce champignon accentue l'attractivité du bois pour les insectes xylophages car il le rend plus digeste. Par la suite, le champignon s'est petit à petit répandu sur les pièces de bois de la partie est de la structure. Le caniveau et le champignon seraient alors la cause de l'infestation de l'ensemble du plancher. La forte concentration en galeries des bois (CH 27, 24, 1 et 22) également contaminés par le champignon appuie cette hypothèse.

Proportionnellement, les vrillettes ont plus infesté le hêtre (sablières et lambourdes) avant de s'en prendre aux planches en pin. Ces espèces attaquant sans distinction les feuillus et les résineux, l'explication tend plutôt vers une première infestation des parties basses du plancher. En particulier celles proches de la source d'humidité. Au fil des générations, l'intérêt se serait porté vers les pièces supérieures, les premières devenant alors moins attractives car mangées. Au vue du nombre de galeries minimales, les *Anobium* ont infesté le plancher pendant au minimum deux générations, une génération vivant dans le bois pendant environ un à quatre ans selon les conditions.

Une question demeure au sujet de CH 23, plus particulièrement pour la section nommée CH 16 (*cf. supra*). En effet, le passage d'un hêtre très infesté à du chêne sain est problématique. S'agit-il d'une réparation du plancher ou est-ce plutôt un objet dont l'origine est difficile à déterminer ?

Parmi les *Ptinidae*, deux espèces ont été identifiées : *Anobium* et *Oligomerus*. Les deux espèces peuvent cohabiter sans se faire une réelle concurrence. De plus, cela accentue l'idée de conditions très favorables d'attirance des insectes sur cette structure et donc d'un enchaînement des générations peut-être assez rapide. L'intérêt de reconnaître les deux individus est de pouvoir mesurer tout l'impact de leurs attaques sur les propriétés mécaniques du bois. Les larves d'*Oligomerus* creusent des galeries de taille un peu plus importantes que les larves d'*Anobium*[618] : les dégâts sont alors plus dangereux pour la structure. Or, dans le cas du plancher 3775, seule la poutre centrale CH 20 conserve les traces d'*Oligomerus*. Il s'agirait peut-être d'un début d'infestation par une nouvelle espèce, n'ayant pu aboutir en raison de l'incendie général du site. Il s'agit peut-être d'un même cas de figure pour les potentielles traces de fourmis (*cf. supra*) (FIGURE 242).

[617] Durée impossible à déterminer.
[618] *Cf.* Chapitre II, pages 113 et Volume III, page 93.

Enfin, les brindilles attribuées à des fagots de bois ne semblent pas avoir été contaminées par ces espèces typiques des bois ouvrés, ni par d'autres insectes. Leur attractivité n'était sans doute pas suffisante ou bien leur état de brindille et peut-être fraîchement coupées les auraient protégées.

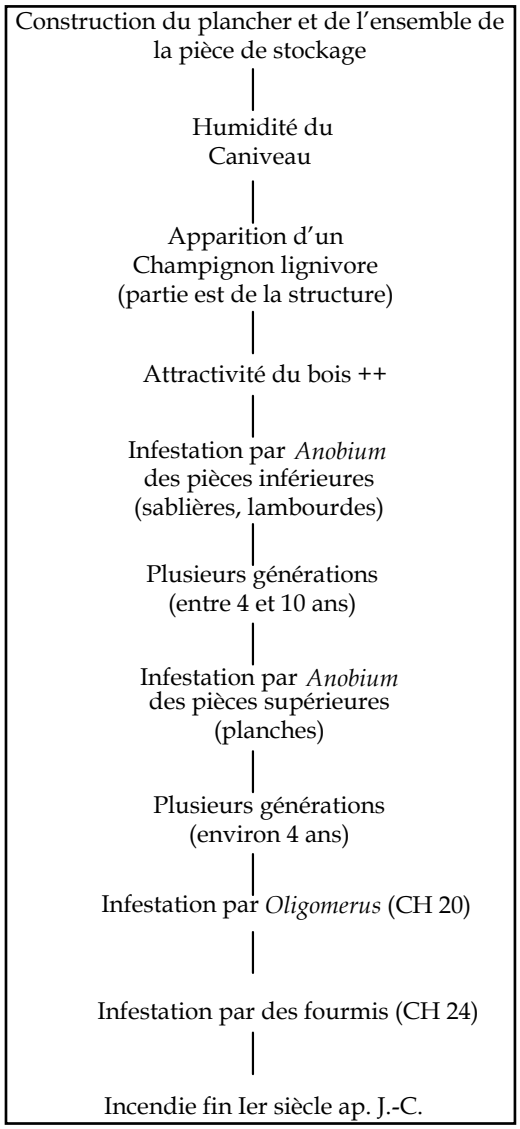


FIGURE 242 - Succession des infestations du plancher 3775.

- Les individus taphonomiques ou récents

Il s'agit d'infestations du charbon de bois ayant eu lieu après la carbonisation mais plus particulièrement après l'enfouissement des vestiges, voire même pendant la phase de recherche de terrain. Tous les arthropodes observés correspondent à des mues d'insectes (larves de scolopendre, vers, œufs, acariens...) et sont récents voire actuels[619]. C'est-à-dire qu'ils sont apparus après le temps d'enfouissement du site et la mise en conditionnement des échantillons. Ils sont très certainement venus suite à l'humidité des pluies sur le chantier au cours des six mois de fouille.

Les hyphes de champignons soulèvent plus de questions[620]. Une partie est très certainement liée à la taphonomie et à l'humidité. En revanche, cela reste plus problématique pour quelques individus, observables qu'après avoir réalisé une coupe anatomique de l'échantillon. De plus, certains de ces hyphes sont accompagnés de déformations des cellules du bois. Une déformation et une colonisation qui interviendraient alors avant la carbonisation. Pour l'heure, on ne sait pas de quelle(s) espèce(s) de champignon il peut s'agir.

Il n'y a pas de traces de traitement du bois pour les structures de l'îlot Camelin (ni par de la poix ou du mortier par exemple). Bien que la carbonisation rend difficile une éventuelle constatation de protection des bois ouvrés, l'hypothèse de bois non protégés est avancée. Une des raisons est que certaines de ces structures sont très fortement infestées (US 3007, US 3775). L'incendie général qu'a subi le site a figé cet état de fait.

[619] Pour rappel, certains arthropodes étaient vivants au moment de l'analyse.
[620] *Cf.* Chapitre II, page 104 ; MOSKA DEL HOYO ET *AL.* 2010.

CONCLUSION

L'intérêt s'est principalement porté sur les infestations archéologiques, c'est-à-dire, ayant eu lieu lors de l'utilisation du bois durant l'Antiquité.

L'état sanitaire du bois d'œuvre est très variable selon le contexte et le site. Ce type d'étude développée pour ce travail est pour l'heure interprétable au cas par cas. Toutefois quelques similitudes, ou plutôt répétition de schéma, sont perceptibles notamment la présence de Ptinidae (vrillette) famille typique des bois secs.

Pour tous les sites présentés au cours de ce chapitre, la quantité de bois d'œuvre découverte (ou potentielle[621]) est très importante en comparaison avec l'image traditionnelle d'une architecture romaine plutôt minérale. L'usage du bois a pourtant longtemps été suspecté (charpente par exemple) mais rarement mis au jour, étudié et prélevé. Ainsi, grâce aux bois carbonisés des Jacobins, de Barzan, du col d'Adon et de l'îlot Camelin ont notamment été révélés des planchers plutôt que des sols en terre battue ou en béton (*opus caementicium* par exemple), une porte et des éléments de charpente. Avec le site portuaire de Rezé, c'est tout un aménagement portuaire, avec des indices d'abord timides via la présence de différents ensembles de pieux et de piquets, puis des aménagements monumentaux, avec la construction de quais en pierre et en bois de 15 m sur 20 m à intervalle quasiment régulier le long des berges.

- Résumé des résultats obtenus

Le site de Barzan est d'un point de vue entomologique, négatif avec un taux d'infestation à 0,25 % (FIGURE 243). Le plancher semble être préservé des attaques de xylophages probablement parce qu'il se situe dans une cave. Pourtant ce sont des lieux généralement humides et privilégiés des champignons. Ces derniers, de type pourriture cubique ont été observés sur certains charbons de bois. Par ailleurs, seules quelques rares galeries isolées ont été enregistrées. Peut-être s'agit-il d'un début d'infestation ?

Le site des Jacobins aurait probablement pu être de la même envergure que l'îlot Camelin. En effet, avec une infestation de près de 22 % de l'ensemble (FIGURE 243), le site de Rennes révèle des infestations originales de lycte (alors qu'habituellement c'est plutôt *A. punctatum* qui domine)[622], en plus de charançon du bois, de vrillette et de capricorne. Une variété intéressante mais dont les interprétations sont freinées par des soucis de prélèvements et d'analyses en laboratoire (FIGURE 244).

Le col d'Adon est un exemple situé en contexte rural avec le quart des bois (pin sylvestre, sapin, chêne) qui sont infestés, principalement par de la vrillette (FIGURE 243). Les analyses des galeries et de leur répartition, notamment sur la paroi 4090 permettent de localiser le point de départ de l'infestation. De plus, la localisation des galeries sur la porte 4094, au centre de la structure (et vraisemblablement non liée à une source particulière) , appuie l'hypothèse archéologique d'un effondrement d'une partie de l'habitat après son abandon et avant un incendie. Seul le linteau 4070 semble être protégé par la maçonnerie et préservé des ravageurs. Les essences utilisées sont toutes locales et présentes à proximité. Le sapin provient certainement des versants nord également à proximité du site.

621 Site des Jacobins.
622 *Cf.* Conclusion générale.

Les bois de Rezé sont ceux avec le plus de variété d'espèces d'insectes mais ne concerne que 10 % de l'ensemble des bois utilisés (FIGURE 243 ; FIGURE 244). Alors que les bois de l'îlot Camelin, bien que « monospécifique », sont essentiellement infestés par *A. punctatum* et *Cossoninae* à plus de 80 % de l'ensemble. Cette variété sur les bois de Rezé révèle des gestes et des choix encore peu mis en évidence en archéologie. Mais est-ce que pour autant les 90 % des bois restant sont sains ? En effet, il faut tenir compte que les pièces ont été rognées avec le temps (hormis les pieux taillés en bille), et un gommage des traces via l'équarrissage est possible (pour les pièces refendues et équarries). L'ensemble architectural a nécessité l'utilisation de plusieurs milliers de mètres cubes de pierres et de bois et joue aussi le rôle à la fois de terrasse et de limite urbaine sur près d'1 km le long de la rive. La zone portuaire de *Ratiatum* devait être accessible à des chalands à fond plat, mais aussi à des caboteurs de taille moyenne au sein d'un espace fluvial et navigable au visage différent de ce qui est connu aujourd'hui[623].

Enfin, le site de l'îlot Camelin est l'analyse la plus complète qu'il a été possible de faire sur du bois carbonisé pour ce dossier. L'infestation générale est relativement élevée, plus de 37 % de l'ensemble des bois. Ces attaques concernent en majorité des bois humides avant l'incendie qui ont favorisé l'arrivée de charançons du bois (plancher 3007, paroi 1078, estrade 3495-3527). Le plancher 3775 devient pour nous un cas d'école tant pour la mise en place de la méthodologie que pour les interprétations des résultats anthraco-entomologiques avec notamment une localisation de la source de l'infestation liée au caniveau et la cohabitation de deux espèces. Ce point influe sur l'idée qu'il est possible d'obtenir sur les conditions environnementales pour l'émergence de ces individus et par conséquent sur une estimation du nombre de génération et de la durée des cycles évolutifs. Les essences utilisées sont de deux origines : la première locale (pin d'Alep/pignon, frêne) et la deuxième exogène avec des bois provenant vraisemblablement de l'arrière-pays et/ou de la montagne (sapin, hêtre, pin de type sylvestre).

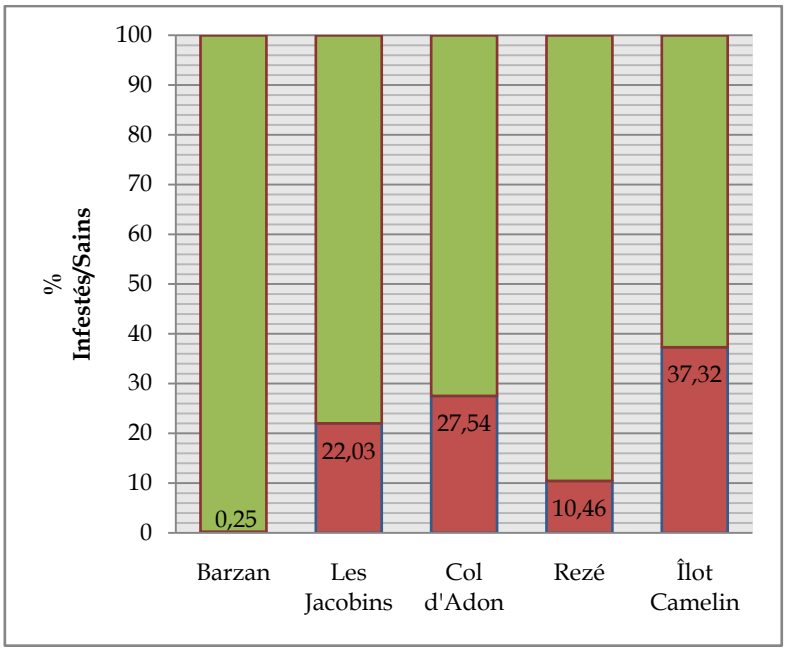


FIGURE 243 - Proportion des bois infestés VS bois sains selon les différents sites étudiés.

[623] Étude R. ARTHUIS, communication orale sur le cours de la Loire, colloque sur les ports romains, juin 2018.

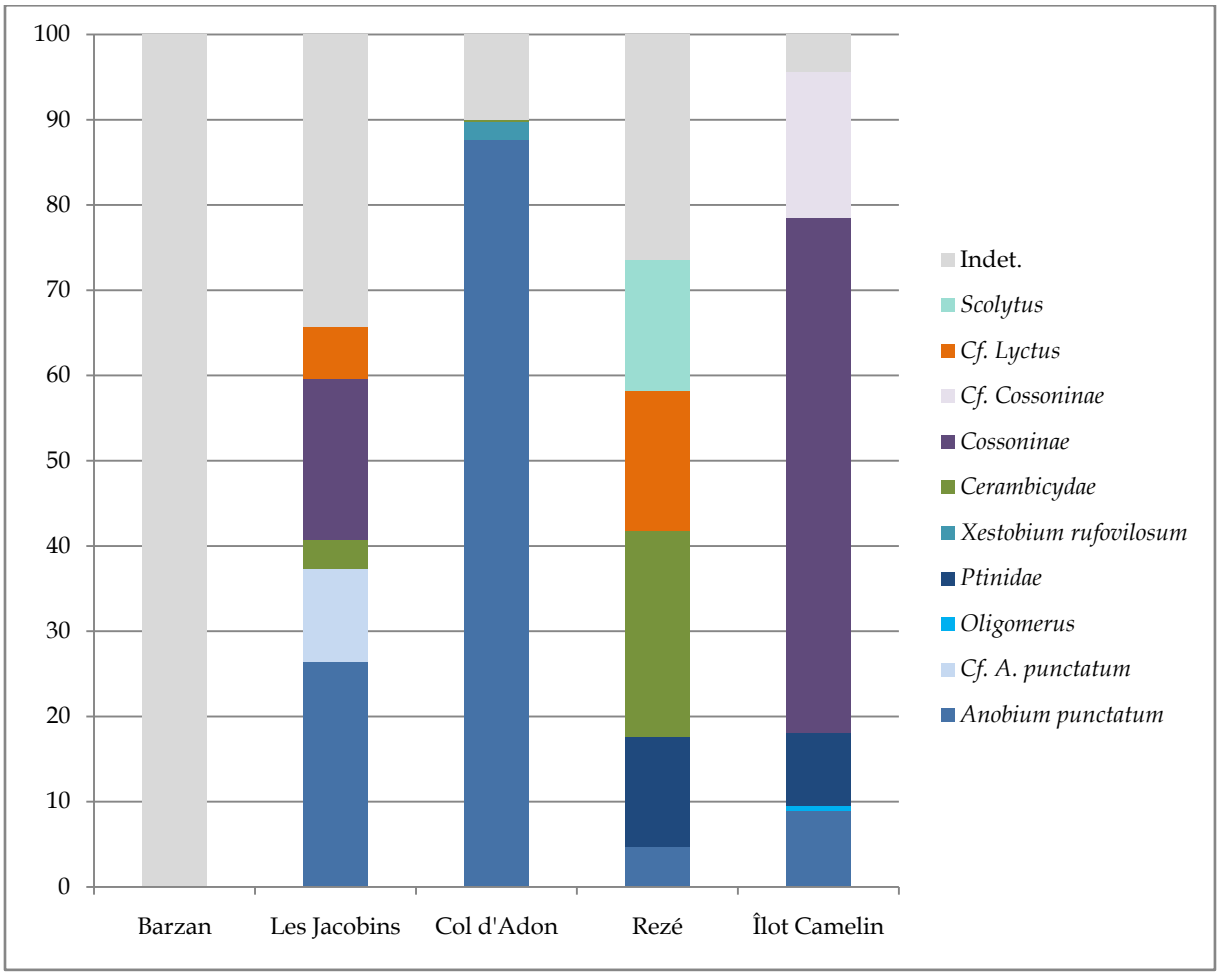


FIGURE 244 - Proportion et variété des espèces d'insectes xylophages identifiés selon les sites archéologiques étudiés.

CHAPITRE V

L'ÉTAT SANITAIRE D'AUTRES TYPES DE BOIS : ÉTUDES DE CAS

INTRODUCTION

Le dernier volet rassemble l'ensemble des études appréhendées et conduites comme des tests méthodologiques sur du bois et des charbons de bois non ouvragés au sens que ce ne sont pas des bois liés à la construction (poutres, planches…) : artisanat, objet, bûcher funéraire. L'objectif est d'expérimenter la clé de reconnaissance des galeries et des vermoulures sur des bois provenant de contextes différents afin de soulever éventuellement d'autres types de gestes et de choix du bois, et de peut-être trouver de nouvelles espèces d'insectes xylophages pas encore caractérisées sur les bois secs.

C'est lors de la recherche de sites d'étude potentiels que ces sites et ces objets nous ont été proposés. Bien qu'il ne s'agisse pas de bois ouvragé tel qu'il a été défini pour cette recherche, il a toutefois semblé intéressant de réaliser ces « expertises » entomologiques appliqués aux bois, notamment en raison des « trous » et des galeries qui avaient été au préalables observés par les différents spécialistes. Les problématiques que ces tests apportent sont différentes et enrichissent la thématique d'étude au-delà de ce qu'il était initialement prévu : moment de l'infestation des objets de collection ou en cours de restauration, choix de bois sains ou non, utilisation comme combustible ou dans un but plus « rituel » avec le bûcher funéraire (Cébazat, 63). Enfin, ce chapitre détaille deux cas particuliers, celui du foyer des Poiriers (Fréjus, 83) et celui du four à chaux du théâtre de Châteaubleau (77). Dans le premier cas, l'analyse entomologique s'avère d'un précieux secours pour mieux caractériser le bois usité. Les bois du second exemple présentent avec 58 % le taux d'infestation le plus important de tous les bois observés et étaient à l'origine interprétés comme étant du réemploi de bois d'œuvre en tant que combustible du four à chaux.

Les objets en bois examinés, seau, élément de tonneau, bol..., proviennent des collections de musées ou étaient en cours de restauration par Arc Antique (imprégnation au peg)[624]. Une application de la méthodologie de reconnaissance des vermoulures a été testée sur les bois carbonisés d'un bûcher funéraire, du site de Cébazat. Les questionnements soulevés par leur étude sont identiques à ceux posés pour le bois ouvragé : choix du bois, sain ou non, provenant d'un arbre vivant ou pas, ayant été stocké ou réemployé. Le cas des structures à feu (foyers et fours, bûcher funéraire) pose différemment la question du choix des essences : à la différence du bois d'œuvre dont l'utilisation s'inscrit sur la longue durée (une habitation tiendra plusieurs années ou décennie), l'utilisation du bois des structures à feu se déroule dans un laps de temps court et dans un but défini : fabriquer de la matière première, rituel funéraire d'un individu, se chauffer, cuisiner... Pour ce qui est du bûcher funéraire, la dimension symbolique doit être également considérée.

[624] *Cf.* Chapitre I, page 73.

I. LES PETITS OBJETS DES MUSÉES : TESTS D'APPLICATION POUR UNE CONSERVATION DU PATRIMOINE LIGNEUX

A. LES OBJETS EN BOIS DU CARRÉ PLANTAGENET (LE MANS, 72)

Dans le but de tester la méthode de reconnaissance des vermoulures d'insectes xylophages, l'observation d'objets en bois gorgés d'eau du musée du Carré Plantagenêt[625] au Mans (72) a été proposée par J. BOUYET[626]. Les bois étudiés au sein même du musée sont datés du Ier s. apr. J.-C. et proviennent de la fouille de sauvetage du couvent des Filles-Dieu en 1982, sous la responsabilité de F. PASQUIER. Ces éléments ont été restaurés (imprégnation au peg et recollage des fragments) par UTICA en 1998.

La collection est composée de sept objets : planche, bardeau, fuseau et une chute d'un objet tourné (probablement un bol). L'ensemble observé ne présente aucune trace d'insecte xylophage. L'humidité des sédiments et du contexte (puits) dans lequel ces objets ont été découverts ont laissé des stigmates sur les bois : craquelures et pourriture cubique (TABLEAU 254).

N° inventaire du musée	Type d'objet	Essence	Dimensions (en cm)	État	Trace de xylophage
A.2000.153	Planche	Chêne	50x7,5x1	Deux fragments, fragile	Non
A.2000.155	Planche	Chêne	29x6,5x3,5	Fragile	Non
A.2000.159	Bardeau	Chêne	23x15	Incomplet	Non
A.2000.160	Bardeau	Chêne	17x7	Incomplet, fragile	Non
A.2000.617	Fuseau	If?	28	Deux fragments	Non
A.2000.619	Fuseau	If?	13	Incomplet	Non
A.2000.620	Chute d'objet tourné	If	7,5x1,6	-	Non

TABLEAU 254 - Inventaire et analyse des bois du Couvent des Filles-Dieu.

Les deux planches semblent avoir été entièrement conservées. Ce constat indique que ces dernières sont des objets en bois en bon état au moment de leur utilisation. La taphonomie en revanche a commencé à dégrader la partie extérieure des objets.

Aucune trace d'infestation n'a été relevée ni durant la phase d'utilisation des objets par les populations, ni durant la phase de post-fouille, à la différence d'autres objets étudiés, comme ceux en provenance du site d'Alésia[627]. En effet, le bois gorgé d'eau, une fois mis au jour grâce à l'archéologie, est toujours attractif pour les insectes xylophages qui interviennent alors au moment des expositions des bois ou de leur stockage dans les réserves d'un musée.

Toutefois, les objets étant écorcés, rien n'indique une possibilité que les arbres originels, à partir desquels ces objets ont été façonnés, étaient eux-mêmes dans un bon état sanitaire. Ils pouvaient être infestés par des insectes cambiophages par exemple, comme la famille des scolytes, des platypes ou encore celle des cérambycides de bois frais.

625 Musée d'Archéologie et d'Histoire du Mans.
626 Responsable du musée du Carré Plantagenêt.
627 *Cf. infra.*

B. LES OBJETS EN BOIS DU MUSÉE DOBRÉE (NANTES, 44)

Comme pour les bois du Carré Plantagenêt, les bois issus des collections du Musée Dobrée à Nantes ont été étudiés. Il s'agit de bois gorgés d'eau restaurés par Arc Antique[628] et situés dans les réserves du musée. Ils proviennent de deux sites archéologiques distincts : Abbaretz et le lieu-dit *les Cléons* (Haute-Goulaine) (TABLEAU 255). Ces éléments sont issus de fouilles anciennes pour lesquelles les informations et les rapports de fouille sont parfois lacunaires (plans, photographies pas toujours claires) pour certaines disciplines utilisées actuellement en archéologie et en bioarchéologie telles que les analyses xylologiques.

N° inventaire	Type d'objet	Lieu/site	Description de l'objet	Date collecte	Taille	Essence	Époque	Traces xyloph.	Autre traces
956.4.1	Vanne de conduit	Abbaretz	Vanne de conduit en bois servant à obstruer le passage d'un cours d'eau, d'une écluse.	Fin XIXe début XXe	35,2x19x4	Chêne	Gallo-romain	non	Bois abîmé par l'eau
956.4.2	Coin	Abbaretz	Coin en bois issu d'une exploitation minière. Outil de carrier pour fendre la roche (filon de quartz)	Fin XIXe début XXe	28,8x7x5,5	Châtaignier	Gallo-romain	non	Coups, éclats, écaillage
930.2.5009	Crapaudine	Les Cléons : Haute-Goulaine	Crapaudine de porte : cavité servant à faire pivoter le gond d'une porte. Scellée au sol.	1882-1900	1,5x6,6x6,5	Inconnue	Gallo-romain	non	-
930.2.4759	Seau	Les Cléons : Haute-Goulaine	Seau en bois avec fond monooxyle de forme décagonale et constitué de 10 douelles.	1882-1900	32x23	Chêne	Gallo-romain	**oui**	Écaillage, pourriture cubique
930.2.4985	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	Frette de moyeu d'une roue, d'un récipient ou de canalisation (?). Ier-IIe apr.	1882-1900	4,2x9x13	Inconnue	Gallo-romain	non	-
930.2.4986	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	Cerclage pour canalisation en bois. Restes de bois et de cendre vitrifiés	1882-1900	3x7 x 9,5	Inconnue	Gallo-romain	non	-
930.2.4987	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragment de canalisation servant à l'assainissement du réseau d'eau de la villa. Vitrifié lors de l'incendie.	1882-1900	4,1x3,5x7,4	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4988	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	4,8x3,3x8,3	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4989	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	4,9x5,7x1	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4990	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	4,5x5,5x1,5	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4991	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	3x6,4x1	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4992	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	3,3x5x1,5	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4993	Canalisation	Les Cléons : Haute-Goulaine	*Idem supra*	1882-1900	4,2x1,7x1,8	If, chêne ou châtaignier	Gallo-romain	non	-
930.2.4994	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	17,8 à 11,8 x 7,1 à 4,4 x 5,3	Feuillu	Gallo-romain	**oui**	Fentes de retrait
930.2.4995	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	25,1x9,5x2	Feuillu	Gallo-romain	**oui**	Écaillage, pourriture cubique
930.2.4996	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	11,1x2x3	Inconnue	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.4997	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	4,2x4,3x2,6	Inconnue	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.4998	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	11,5x2,2x1	Chêne	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.4999	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	10,6x2,2x1,6	Inconnue	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.5000	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers : type pieu, piquet	1882-1900	11,7x4,1x3	Inconnue	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.5001	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	18,9x4x2,5	Inconnue	Gallo-romain	non	pourriture cubique
930.2.5002	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	6,8x5,2x1,7	Chêne	Gallo-romain	non	Bois abîmé

[628] Restauration par Gwenaël LEMOINE.

930.2.5003	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers : 7	1882-1900	8,8 à 4,1 x 5,4 x 1,5 x 0,6	Chêne	Gallo-romain	non	Racines
930.2.5004	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	3x3,2x0,7	Inconnue	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.5005	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	12,5x1,6x2,4	Chêne	Gallo-romain	non	-
930.2.5006	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	4,4x2,1x1,3	Chêne	Gallo-romain	non	-
930.2.5007	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	Fragments divers	1882-1900	13x2x1	Chêne	Gallo-romain	non	Trou pour clou
930.2.5836	Fragments divers	Les Cléons : Haute-Goulaine	16 grands fragments de bois et petits fragments. Déchets de coupe : équarrissage.	1882-1900	9,8 à 45 x 5,4 à 14,5	Chêne	Gallo-romain	non	Rares fente de retrait, écaillage

TABLEAU 255 - Liste des objets des collections du musée Dobrée analysés.

- *Abbaretz*

Le site d'Abbaretz-Nozay (44) concerne notamment, pour la période gallo-romaine, un lieu d'extraction de l'étain qui a été particulièrement étudié entre les années 1880 et 1950[629]. Sur les lieux même de l'exploitation ancienne, plusieurs outils utilisés pour l'extraction du minerai ont été retrouvé (élément de masse en fer, pelles, *etc.*) dont deux pièces de bois, respectivement en chêne et châtaignier (956.4.1 et 956.4.2) (FIGURE 245). La première correspond à une vanne de conduit et la seconde à un coin en bois datés de la période gallo-romaine. Les deux pièces furent en contact avec l'eau probablement après l'abandon du site et cela s'en ressent sur l'état du bois en lui-même : certaines parties (notamment du coin) sont écaillées et une pourriture cubique avait commencé à se développer. Cependant, aucune trace d'insecte xylophage n'a été observée.

a. **b.**

FIGURE 245 - Bois étudiés du site d'Abbaretz. **a.** Vanne de conduit en chêne (956.4.1). **b.** Coin en châtaignier (956.4.2).

[629] CHAMPAUD 1957.

- Les Cléons : Haute-Goulaine

Le site archéologique du lieu-dit *les Cléons* à Haute-Goulaine, (44) a été fouillé entre 1882 et 1900 par F. CHAILLOUX[630]. C'est lors de la fouille d'un puits, qu'un ensemble de 26 pièces de bois de l'époque gallo-romaine, de fonctions et de formes différentes, a été récolté puis restauré au début des années 2000.

Une crapaudine de porte en métal (930.2.5009) fait partie des objets observés car elle contenait quelques rares restes de bois conservés. Or ces derniers ne semblent pas avoir été altérés par les insectes (FIGURE 246).

FIGURE 246 - Crapaudine en fer (930.2.5009).

Plusieurs canalisations en métal, neuf au total, mais contenant des restes de bois ont également été observés (930.2.4985 à 930.2.4993) ne comportaient pas de traces de xylophages (FIGURE 247).

FIGURE 247 - Éléments de canalisation en métal.

Un lot de « fragments divers » (930.2.4994 à 930.2.5007 ainsi que 930.2.5836) dont les fonctions restent difficiles à déterminer, ont été étudiés. Pour l'objet 5836, il pourrait s'agir de chutes de taille avec des éléments d'écorce. Quelques bois présentent des trous qui devaient réceptionner un clou ; d'autres des traces d'infestations par de la pourriture cubique. Deux pièces ont retenu plus particulièrement l'attention (FIGURE 248) :

- 930.2.4994 est un lot de petites pièces desséchées et attaquées. Les traces sont proches d'une infestation de termites[631]. Le bois semble « vidé » et on remarque des traces de « dents » sur

630 CHAILLOU 1887.
631 *Cf.* Volume III, page 147.

le bois. En revanche, aucune vermoulure (sous forme de grain de maïs, typique des termites) n'a été observée. Cette famille de xylophage peut infester les bois selon divers cas : naturels, bois abattus et bois d'œuvre. La signalisation de leur présence est intéressante d'un point de vue méthodologique, mais n'offre pas plus d'informations archéologiques dans ce cas précis en plus d'une méconnaissance du contexte de découverte.

- 930.2.4995 est une petite pièce qui comporte au minimum quatre galeries bien rondes dont un trou d'envol. Des coques de nymphose typiques ont été retrouvées dans les galeries larvaires et les vermoulures observées[632]. De la pourriture cubique a été observée. Il s'agit très probablement de *Nicobium Castaneum*[633], appelée couramment la vrillette des bibliothèques. Cette espèce peut infester les bois d'œuvre, en particulier les meubles, surtout si le bois en question est infesté par un champignon. Ce dernier le rend alors plus digeste pour le xylophage.

a. **b.**

FIGURE 248 - Lot de fragments. **a.** 930.2.4994. **b.** 930.2.4995

Un seau en bois avec des traces de cercles en fer (930.2.4759) a été découvert lors de la fouille (FIGURE 249). Il est composé de 10 douelles dont neuf sont conservées et la dernière a été entièrement recréée en remplacement. L'objet est entièrement en bois de chêne. Par endroit, le bois est écaillé, ce qui signale la présence d'une pourriture de type cubique colonisant le bois très humide. Le seau a été vraisemblablement utilisé pour récolter l'eau d'un puits.

FIGURE 249 - Seau 930.2.4759, conservé au musée Dobrée.

Sur les douelles 6, 7, 8, 9 et 10, des traces d'insectes xylophages et des trous d'envols ont été reconnus (FIGURE 250 ; PLANCHE 33). Ces trous d'envols permettent de connaître la taille

[632] Mais n'ont pas pu être prélevées dans un souci de conservation de l'objet.
[633] *Cf.* Volume III, page 115.

maximale de l'insecte adulte, de mieux identifier l'espèce et d'être sûr que l'individu a fait un cycle évolutif complet au sein du bois. Les galeries larvaires sont également présentes et contiennent des vermoulures fusiformes de type petite vrillette[634] (*Anobium punctatum*). Cette espèce est présente dans la nature, mais préfère être proche des structures humaines (bois d'œuvre et mobilier) et de ses bois car ils sont protégés plus facilement des intempéries. Le chêne étant un bois dur, le champignon facilite la dégradation par l'insecte. Selon le compte rendu de la fouille, le seau présentait ces traces dès sa découverte, ce qui exclut une potentielle ré-infestation, plus tardive, dans les locaux du musée et appuie l'idée d'un seau infesté, mais pourtant utilisé à l'époque romaine. L'attaque semble avoir commencé par le bas des douelles ce qui accrédite l'hypothèse que le seau devait être posé sur une surface suffisamment humide pour attirer le champignon puis dans un second temps, l'insecte.

FIGURE 250 - Seau 930.2.4759, détails de la douelle n°6.

634 *Cf.* Volume III, page 109.

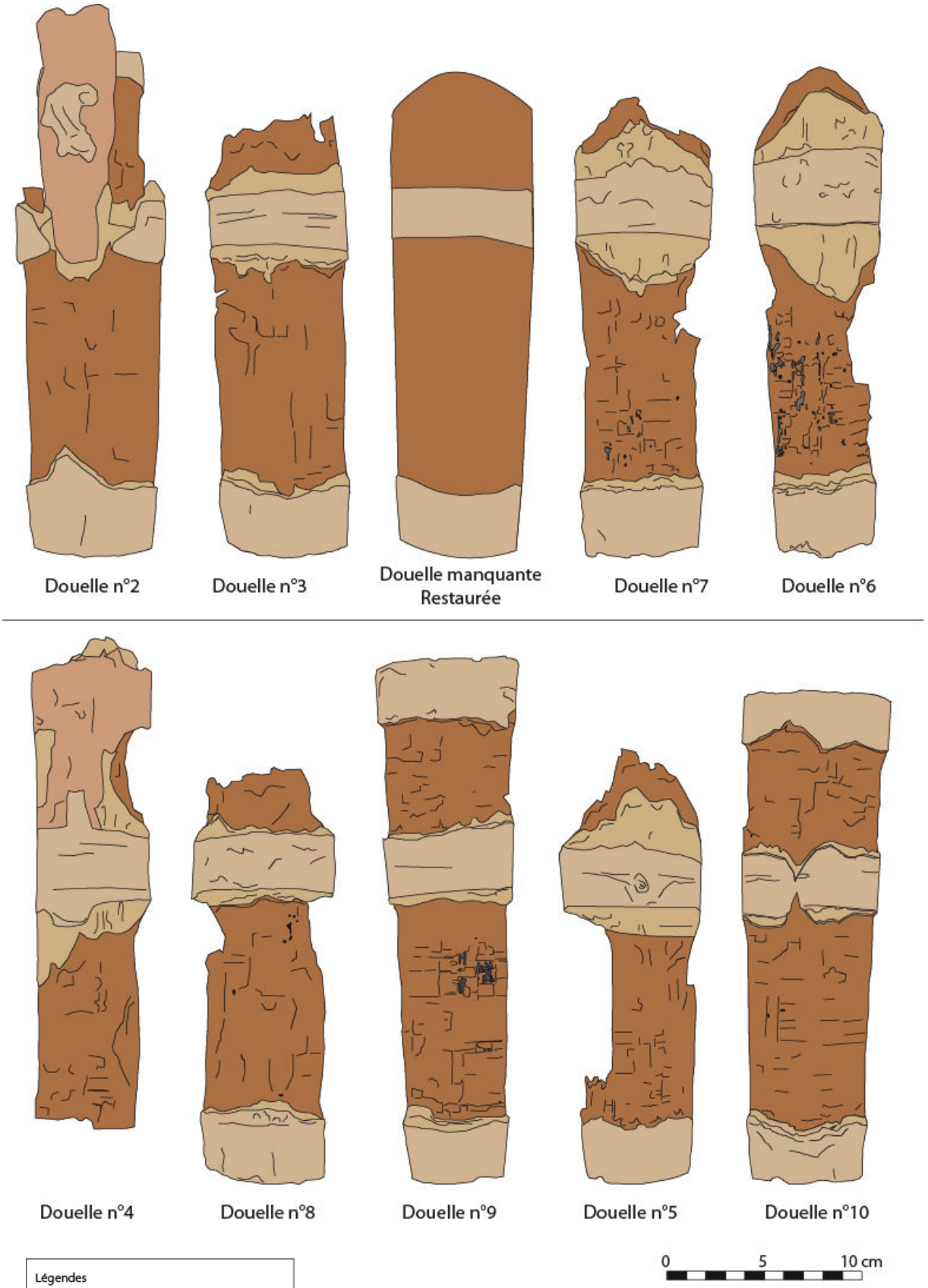


PLANCHE 33 - Seau 930.2.4759, dessins des douelles et mise en évidence des traces d'*Anobium punctatum* et de l'écaillage résultant du développement de la pourriture cubique. DAO. M. TORITI.

C. LES OBJETS EN BOIS RESTAURÉS PAR ARC'ANTIQUE (NANTES, 44)

Des contacts ont été noués durant ce travail avec l'équipe d'Arc'Antique, et plus particulièrement avec Gwénaël LEMOINE, qui travaille exclusivement sur la restauration des objets et artefacts en matériaux périssables (bois, cuir, graines et fruits...). Ainsi, pour deux sites archéologiques, la Porte Allain (Trégueux) et les bois des fouilles des années 1930 d'Alésia, des tests d'analyses des traces d'insectes xylophages sur les objets ont été effectués directement au sein des locaux d'Arc'Antique juste après leur imprégnation au peg[635].

1. Les objets en bois gorgés d'eau de la Porte-Allain, Trégueux (22) (IIIe-Ier siècle av. J.-C.)

Le lot concerné par cette étude correspond à un ensemble de 84 éléments en bois gorgés d'eau dont des seaux et des tonneaux (douelles, couvercles et/ou fonds) qui ont été partiellement reconstitués par G. LEMOINE[636] et préalablement étudiés sur un plan xylologique par Nima SAEDLOU[637]. Sur le plateau dominant la vallée de l'*Urne*, le site de la Porte-Allain à Trégueux (Côtes d'Armor) a été fouillé en 2009-2010 par Oxford Archéologie, dans le cadre des travaux de la rocade de l'agglomération. Ces investigations archéologiques font suite notamment à un diagnostic réalisé en 2007 par G. LEROUX[638]. Les archéologues ont mis en évidence, au lieu-dit de la Porte-Allain, une enceinte quadrangulaire[639] ainsi que les premiers vestiges d'un village daté de l'âge du fer (IIIe - Ier av. J.-C.) qui sera fouillé entre 2009 et 2010 par 42 personnes françaises et britanniques.

Les bois gorgés d'eau restaurés ont été découverts dans quatre puits différents : 10476, 4572, 4635, 5876[640] :
- Le plus ancien puits, 10476, (IIIe av. J.-C.) a révélé l'existence de 13 objets en bois formant un unique seau complet (2047)[641] formé d'un fond circulaire plat de 264 mm de diamètre et de 10 douelles chevillées ensemble, mesurant environ 290 mm de longueur et de forme plutôt évasée. Ce seau a été étudié dans le cadre du test entomologique.
- Les trois autres puits (Ier s. av.) forment des assemblages identiques, mais vraisemblablement composés de plusieurs seaux et tonneaux différents, hormis le puits 4635[642] comprenant un fond et des douelles d'une même pièce.

L'assemblage du puits 4572[643] est composé d'au moins sept récipients de stockage tripodes formés de douelles. Le groupe peut représenter un dépôt spécial ou un dépôt structuré, ce

635 *Cf.* Chapitre I, page 73.
636 LEMOINE 2015.
637 SAEDLOU 2011.
638 LEROUX *ET AL.* 2008.
639 LEROUX *ET AL.* 2008, 37.
640 Ainsi qu'un cinquième puits daté du Moyen âge n°16541.
641 *Cf.* Annexe 8, planche 1, page 319.
642 Non étudié car restauré et renvoyé dans ses locaux d'origine au moment de l'étude.
643 *Idem* 4635, non étudié.

qui signifie qu'ils ont été jetés vides ou bien peut-être contenaient-ils une offrande de nourriture[644].
Dans le puits 5876 ont été retrouvé 600 fragments de bois représentant 352 objets au total. Ce puits a permis la découverte du plus grand et du groupe d'objets les plus variés, dans lesquels est inclue une série de récipients ayant trait à la préparation et au stockage alimentaire (mortier et pilon, pétrin pour le pain, meule en pierre, cuillère en bois, nombreuses douelles, fonds, couvercles et anses). C'est ce lot qui a été principalement testé en vue d'une analyse entomologique des bois. Les échantillons restaurés et réassemblés sont numérotés sous la forme : 2013xxx (TABLEAU 256) (ANNEXE 8)[645].

Les seaux et les tonneaux appartiennent à différents modèles de grandeur déterminés par N. SAEDLOU :

- couvercles grands modèles dont le diamètre se situe entre 760 et 818 mm (au nombre de 5)
- couvercles moyens dont le diamètre mesure entre 575 et 650 (au nombre de 14)
- couvercles petits modèles dont le diamètre mesure entre 300 et 540 mm (au nombre de 8).

Outre les traces de xylophages (*cf. infra*), des perforations (ou percements circulaires, rectangulaires) d'assemblage des pièces ont été repérées : mortaise, trou pour un clou. Ils sont surtout implantés à la périphérie des couvercles. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour leur fonction :

- système de levage du couvercle en faisant passer une corde ;
- attache pour un système de levage métallique ;
- réutilisation du couvercle à d'autre fin ou réemploi d'un autre objet pour en faire un couvercle.

644 Interprétation N. SAEDLOU, SAEDLOU 2011, 6.
645 Les numéros des planches contenues dans cette annexe suivent une numérotation à part de celle utilisée dans le courant du texte.

N° Inventaire	Type d'objet	Essence	N° planche Annexe 8	Xylophage	P. cubique	Autre
2047	Seau	Chêne	1		x	
2013020	Fond de tonneau	If	2		x	
2013021/28	Couvercle de tonneau	Chêne	2	x	x	
2013022/27/53/92/102	Douelles	If	3			
2013023	Planche	Chêne	3		x	
2013024	Tenon ou cheville	Chêne	4	x	x	
2013025	Couvercle de tonneau	Chêne	4	x	x	Perforation
2013026	Pièce équarrie	Chêne	4			Perforation
2013029	Pièce équarrie	Chêne	4			
2013030	Cheville	Chêne	5			
2013031	Cheville	Chêne	5			
2013032	Douelle à anse	Chêne	5	x	x	Perforation
2013033	Planche de coffre à pied	Chêne	5			
2013034	Objet avec double tenon	Chêne	5			
2013035	Pièce avec mortaise	Chêne	5	x	x	Perforation
2013036	Planche rectangulaire	Chêne	6			
2013038	Douelle	Chêne	6			
2013039	Douelle	Chêne	6			
2013040	Douelle	Chêne	6	x	x	
2013042	Grande cuillère	Chêne	7			
2013043	Planche	Chêne	7			Perforation
2013044/60/75/93/ 94/95/106	Douelles	Chêne	7	x	x	Perforation
2013045	Fond de tonneau et douelles	If	8-9	x	x	Perforation
2013046	Planche	Chêne	9	x	x	
2013047	Douelle	Chêne	10	x	x	
2013048	Douelle	Chêne	10	x	x	Perforation
2013049	Fond de seau	Chêne	10		x	
2013050	Couvercle	Chêne	10		x	
2013051/68/71/72/83	Douelles	Chêne	10		x	Perforation
2013052	Couvercle de tonneau	Chêne	11	x	x	
2013054	Élément de planche/douelle	Chêne	11	x	x	
2013055	Élément de planche	Chêne	11		x	
2013056	Élément de planche	Chêne	11	x	x	
2013057/65	Fond de seau	Chêne	11	x	x	
2013058	Élément de planche	Chêne	11	x	x	
2013059	Planche	Chêne	12	x	x	Perforation
2013061	Douelle	Chêne	12		x	Perforation
2013062	Douelle	Chêne	12		x	
2013063	Douelle	Chêne	12	x	x	
2013064	Douelle	Chêne	13	x	x	
2013066	Couvercle de tonneau	Chêne	13			Perforation
2013067	Fond de seau	Chêne	13		x	
2013069	Couvercle de tonneau	Chêne	13			
2013070/91	Couvercle de tonneau	Chêne	14			perforation
2013073	Fond de seau	Chêne	14		x	
2013074	Fond de seau	Chêne	14		x	
2013076/77	Couvercle de tonneau	Chêne	14			
2013078	Fond de tonneau	Chêne	14		x	
2013079	Couvercle de tonneau	Chêne	14			
2013081	Couvercle de tonneau	Chêne	15			
2013084/87	Couvercle de tonneau	Chêne	15			
2013085	Douelle	Chêne	15	x	x	
2013086	Douelle	Chêne	15	x	x	
2013088	Douelle	Chêne	15			
2013089/96/98/ 99/100/101	Douelles	Chêne	16	x	x	Perforation
2013090	Douelle	Chêne	16			
2013097	Élément	Chêne	17			
20130103	Élément	Chêne	17		x	
20130104	Élément	Chêne	17		x	
20130105	Élément	Chêne	17			

TABLEAU 256 - Résumé de l'ensemble des objets en bois analysés de la Porte-Allain, Trégueux. Les planches annoncées se trouvent dans l'Annexe 8.

Parmi les 60 ensembles étudiés sous l'angle entomologique appliqué aux bois gorgés d'eau, 22 présentent des traces d'insectes xylophages, soit un peu plus de 36%. En parallèle, 37 objets sont infestés par de la pourriture cubique, ce qui équivaut à plus de 61% de l'ensemble. On constate que tous les bois infestés par l'insecte xylophage, le sont également par le champignon lignivore.

Les galeries observées ont été identifiées soit en tant que galeries larvaires, soit comme galeries de sortie. Ces dernières sont intéressantes car elles signifient que l'insecte a effectué un cycle évolutif complet. Afin de ne pas abîmer les objets fraîchement restaurés, seuls quelques vermoulures ont pu être récoltées en grattant légèrement la surface du bois grâce à une aiguille de couture (FIGURE 251). Ces galeries, dont le diamètre varie de 2 à 3 mm, sont attribuables à la famille des Ptinidae et grâce aux mesures et aux observations des vermoulures récoltées, il s'agit très probablement de l'espèce *A. punctatum*[646].

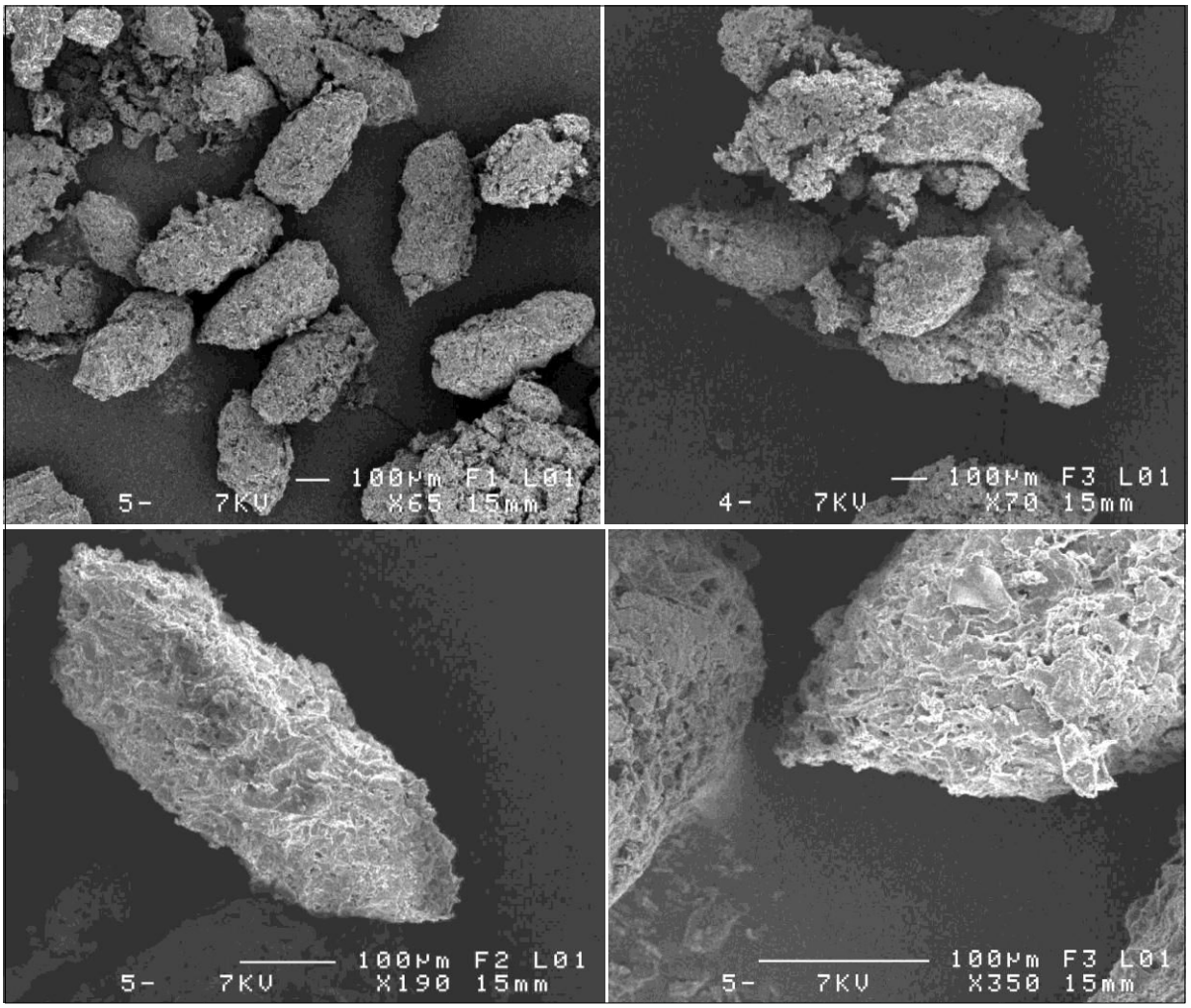


FIGURE 251 - Exemples de vermoulures fusiformes typiques d'*A. punctatum* récoltés sur les bois gorgés d'eau de la Porte-Allain (cl. L. JOANNY, CMEBA).

Les galeries sont généralement groupées sur une partie de l'objet (TABLEAU 257) : bord (2013025 ; 2013032 ; 2013045 ; 2013056 ; 2013058), partie inférieure, centrale ou supérieure

[646] *Cf.* Volume III, page 109.

d'une douelle, d'un couvercle ou d'un fond, ou encore en suivant une fissure du bois ou une mortaise (2013021/28 ; 2013025 ; 2013035 ; 2013059). Dans quelques cas, les galeries ont une répartition éparse sur l'objet (2013046 ; 2013052 ; 2013054) ; autrement, elles sont plutôt groupées sur un endroit de la pièce en particulier. L'intérieur de l'objet semble plus souvent infesté : 10 objets contre 7 extérieurs d'objets touchés. L'association intérieur/extérieur attaquée est observable seulement sur les douelles et sur une planche (2013059). Enfin, pour les lots de douelles, il est difficile d'établir avec exactitude l'ordre dans lequel elles sont originairement agencées, les galeries n'offrant pas de réelles répartitions d'une douelle à l'autre.

N° Inventaire	Type d'objet	Essence	N° planche Annexe 8	Localisation de l'infestation	Int./ext. de l'objet	Groupement des galeries
2013021/28	Couvercle de tonneau	Chêne	2	Fissure du bois	Intérieur	Groupées
2013024	Tenon ou cheville	Chêne	4	Isolée	-	Rares
2013025	Couvercle de tonneau	Chêne	4	Bord, proche mortaise	Extérieur	Groupées
2013032	Douelle à anse	Chêne	5	Bord central	-	Groupées
2013035	Pièce avec mortaise	Chêne	5	Proche de la mortaise	-	Rares
2013040	Douelle	Chêne	6	Bas de la douelle	Intérieur et extérieur	Groupées
2013044/60/75/93/94/95/106	Douelles	Chêne	7	Bas et centre (075/093/094)	Intérieur	Groupées
2013045	Fond de tonneau et douelles	If	8-9	Bord	Extérieur (fond et douelle K) ; intérieur (douelles 11, B, D, J) intérieur et extérieur (douelles G)	Groupées
2013046	Planche	Chêne	9	Général	-	Éparses
2013047	Douelle	Chêne	10	Centre	Intérieur	Groupées
2013048	Douelle	Chêne	10	Général	Intérieur et extérieur	Groupées
2013052	Couvercle de tonneau	Chêne	11	Général	Intérieur	Éparses
2013054	Élément de planche/douelle	Chêne	11	Général	-	Éparses
2013056	Élément de planche	Chêne	11	Bord	-	Groupées
2013057/65	Fond de seau	Chêne	11	Forme une ligne partant du bord vers le centre de la pièce	Extérieur	Groupées
2013058	Élément de planche	Chêne	11	Bord	-	Rares
2013059	Planche	Chêne	12	2 zones : centre et proche mortaise	Intérieur et extérieur	Groupées
2013063	Douelle	Chêne	12	Haut	Extérieur	Groupées
2013064	Douelle	Chêne	13	Haut	Extérieur	Groupées
2013085	Douelle	Chêne	15	Bas	Intérieur et extérieur	Groupées
2013086	Douelle	Chêne	15	Bas	Intérieur	Groupées
2013089/96/98/99/100/101	Douelles	Chêne	16	Bas	Extérieur (douelles 096/099/100)	Groupées

TABLEAU 257 - Répartition des infestations selon les objets observés de la Porte-Allain, Trégueux.

Les bois ont été observés peu de temps après leur découverte. Cet état de fait diminue très considérablement les chances d'infestations actuelles. Par conséquent, il a donc été considéré

que les galeries observées sont des galeries creusées lors du fonctionnement ou de l'utilisation de ces objets.

2. Un problème de conservation des bois d'Alésia, Alise-Sainte-Reine (IIe–Ier av. J.-C.)

Les bois étudiés ici proviennent d'un contexte plus difficile à maîtriser en raison de la rareté et des lacunes (pour les bois) des données de terrain et de l'ancienneté des fouilles. Les découvertes des bois dans plusieurs puits ont été réalisées entre 1906 et 1958. L'ensemble d'éléments de seaux en bois (fonds et douelles, éléments en fer) est issu plus particulièrement de deux puits fouillés en 1934 et 1936 (TABLEAU 258) (ANNEXE 8)[647]. Les bois ont par la suite été stockés dans un dépôt muséal, séchant alors à l'air libre sans les méthodes de conservation connues et utilisées aujourd'hui. Les différents objets se sont craquelés et « atrophiés » lors du séchage.

En 2016, G. LEMOINE a restauré et imprégné chacun de ces objets afin de stabiliser leur décomposition. Elle a surtout été confrontée à la toxicité des pièces qu'elle a été amenée à mesurer. En effet, dans les années 1950, l'équipe du MuséoParc d'Alésia a constaté que les bois antiques étaient infestés par des xylophages actuels (vermoulure fraîche, insectes vivants et volants dans les réserves). Afin d'être préservés et d'éradiquer la menace, les objets ont alors été trempés dans de l'arsenic. Les conditions d'observation et de restauration ont alors été plus complexes à mettre en œuvre pour des raisons de sécurité.

L'intérêt de ces observations conduit à poser de nouvelles problématiques qui n'avaient pas encore été rencontrées dans le cadre de ce dossier :
- le traitement du bois archéologique à la suite de fouilles anciennes
- l'attractivité du bois archéologique, plusieurs années après leur excavation.

Les vermoulures sont facilement observables malgré les différents séchages et traitements que les objets ont subi. Afin d'éviter une détérioration plus importante de ces objets, seulement quelques prélèvements de vermoulure ont été réalisés à l'aide d'une aiguille.

[647] Propos oraux de M. GRAPIN, conservateur actuel du MuséoParc.

N° Inventaire	Type d'objet	Essence	N° planche Annexe 8	Xylophage	P. cubique	Autre
2010340	Objet décoré	If	18			
2010341	Seau	If	18			
2010342	Divers éléments séchés	Chêne	18	x	x	
2010343	Canalisation	Chêne	19			
2010352	Bobine	Feuillu	19			
2010353	Bobine	Chêne	19			
2010354	Maillet	Feuillu	19			
2010355	Bobine	Feuillu	19			
2010359	Bois équarri	Chêne	19		x	
2010366	Fond de seau	Chêne	19	x	x	
2010367	Divers éléments	Chêne	19		x	
2010368	Pièce équarrie avec tenon	Chêne	20			Perforation
2010369	Divers éléments de seau séchés	Chêne	20		x	
2010370	Douelles	Chêne	20		x	
2010371	Douelles séchées	Chêne	20		x	
2010372	Pièce équarrie	Chêne	20			
2010373	Pièce indéterminée séchée	Chêne	20			Clou
2010374	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010375	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010376	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010377	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010378	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010379	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010380	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010381	Éléments de seau	Chêne	21	x	x	
2010382	Éléments de seau	Chêne	22	x	x	
2010383	Éléments de seau	Chêne	22	x	x	
2010384	Éléments de seau	Chêne	22	x	x	
2010385	Éléments de seau	Chêne	22	x	x	
2010386	Éléments de seau	Chêne	22	x	x	
2010387	Éléments de seau	Chêne	23	x	x	
2010388	Éléments liés à du métal	Chêne	24	x	x	
2010390	Planche	Chêne	24	x	x	
2010391	Pièces équarries	Chêne	24	x	x	Nœud
2010393	Élément indéterminé séché	Chêne	25		x	Clou
2010394	Pièce équarrie	Chêne	25			
2010395	Élément de bobine	Feuillu	25			
2010396	Pièce équarrie	Chêne	25			
2010397	Élément indéterminé séché	Chêne	25	x	x	
2010398	Éléments de seau séché	Chêne	25	x	x	
2010401	Divers éléments séchés (seau?)	Chêne	26	x	x	
2010402	Divers éléments séchés (seau?)	Chêne	26	x	x	
2010403	Divers éléments séchés (seau?)	Chêne	27	x	x	
2010404	Divers éléments séchés (seau?)	Chêne	27			
2010405	Divers éléments séchés (seau et bois naturels)	Divers	28	x	x	Clou
2010406	Divers éléments séchés (seau et bois naturels)	Divers	29	x	x	
2010407	Divers éléments séchés (seau et bois naturels)	Divers	29		x	
2010408	Éléments de seau	Chêne	30			
2010409	Bois naturel	Chêne	30		x	
2010410	Pièce équarrie	Chêne	30		x	Clou
2010411	Pièce équarrie	Chêne	30			
2010412	Bois naturel	Chêne	30			
2010413	Bois naturel	Chêne	30			
2010414	Pièce équarrie	Chêne	30			
2010415	Éléments de seau	Chêne	31	x	x	
2010418	Éléments de seau	Chêne	31			
2010454	Élément de bobine	Feuillu	31			
2010455	Élément de bobine	Feuillu	31			
2010456	Bille écorcée	Feuillu	31			
2010457	Pièce équarrie	Chêne	31		x	
2010458	Pièce équarrie	Chêne	31	x	x	

TABLEAU 258 - Résumé de l'ensemble des objets en bois analysés d'Alésia. Les planches annoncées se trouvent dans l'Annexe 8 (Volume II, page 337).

Parmi 61 bois analysés, 28 sont infestés par la petite vrillette (*Anobium punctatum*), soit près de 50% de l'ensemble (FIGURE 252). Il s'agit bien de vermoulure récente qui a été observée. Bien qu'il ne soit pas encore possible de faire une réelle différence entre des vermoulures anciennes et des vermoulures actuelles, une différence est toutefois notable pour les bois infestés d'Alésia : la qualité des unités fusiformes. Ces dernières ne sont pas altérées par une exposition prolongée dans l'eau ou de la boue. Elles ne sont pas non plus déformées par l'excès d'eau qu'elles auraient pu contenir. Les bordures des unités de vermoulure sont nettes et ne se délitent que très peu. Cet état de fait accrédite l'idée d'une infestation sur du bois sec, autrement dit lors du stockage de ces bois dans les réserves du

MuséoParc. Hormis ces traces récentes, aucune, dans le cas d'Alésia, ne semble dater du moment de l'utilisation des objets. Toutefois, le doute demeure compte tenu de la qualité des bois conservés au moment de leur observation.

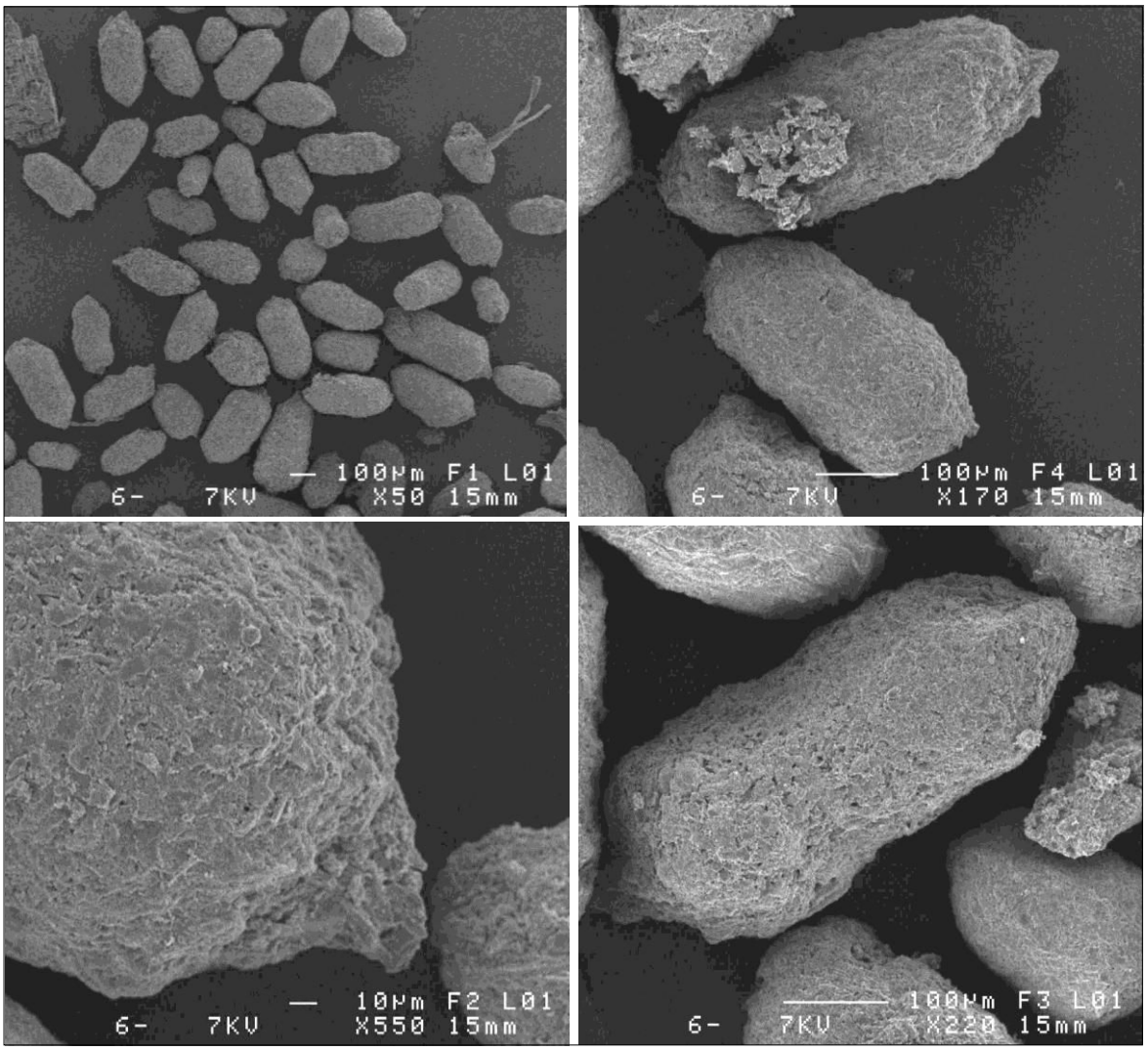


FIGURE 252 - Exemples de vermoulures récentes fusiformes d'*A. punctatum*, observées sur les bois d'Alésia.

Pour rappel, le même type de problématique a été rencontré pour certains bois de Rezé[648]. En effet, au moment de la fouille de 2015, de nombreux bois (notamment le caisson CAI 9 en chêne) ont été mis au jour. De par leur taille imposante et en raison de l'avancée de la fouille, il a été jugé nécessaire d'attendre la campagne suivante. Le site a alors été à nouveau immergé par l'eau à la fin des investigations de 2015. Lors de l'été 2016, les bois étaient toujours en place, mais n'étaient plus entièrement protégés par la vase et les sédiments. Ainsi, entre les deux campagnes de fouille, les bois ont été infestés par des xylophages aquatiques (crustacés). Le bois, toujours attractif, a été ainsi perforé.

[648] *Cf.* Chapitre IV, page 273.

II. Le site de la ZAC Des Montels III - Maison blanche - Champ Roche, Cébazat (63) : état sanitaire des charbons d'un bûcher funéraire du IIe s. apr. J.-C.

1. Données brutes

a. Présentation du bûcher 2426

Le site de la ZAC des Montels III, situé à environ six kilomètres de Clermont-Ferrand, sur la commune de Cébazat[649], a révélé l'existence d'un établissement gaulois, d'un sanctuaire de 600 m² daté entre le Ier et le IIIe s. de notre ère et d'un ensemble funéraire. Ce dernier est composé de sépultures à inhumation et à crémation. Un des bûcher analysé par Valentina BELLAVIA a donné lieu à l'observation de galeries d'insectes conservées par la carbonisation. D'orientation est-ouest, le bûcher 2426 est de forme oblongue (2,20 x 1,10 m et 0,40 m de profondeur conservée) (FIGURE 253). Il est daté du IIe s. apr. J.-C.

Le comblement inférieur 2427 est une couche de 30 cm d'épaisseur, formée de limons charbonneux avec de nombreux tessons de céramique brûlés, des clous, des os brûlés (faune en surface). De nombreuses lampes à huiles sont aussi présentes. Le creusement de la paroi semble être composé de céramiques au nord de la fosse. Ce phénomène est moins visible au sud. Il y a très peu d'ossements humains brûlés ; ils proviennent probablement d'une récupération et ainsi de l'élaboration d'un dépôt secondaire. Quelques éléments ne semblent pas brûlés : des fragments de céramique sigillée et un tibia humain. Le mobilier découvert pour ce niveau concerne de la faune, un lot très important de clous de menuiserie en fer associé à des fragments d'objet en alliage cuivreux indéterminés, du verre, et une scorie. L'ensemble des charbons et du mobilier a été prélevé via un carroyage de 25 sur 25 cm.

Le comblement supérieur 2457 est un limon argileux plus ou moins clair légèrement charbonneux avec des petits blocs. À l'interface entre 2457 et 2427, des tessons et des clous à plat ont été mis au jour.

[649] *Cf.* Chapitre III, page 180.

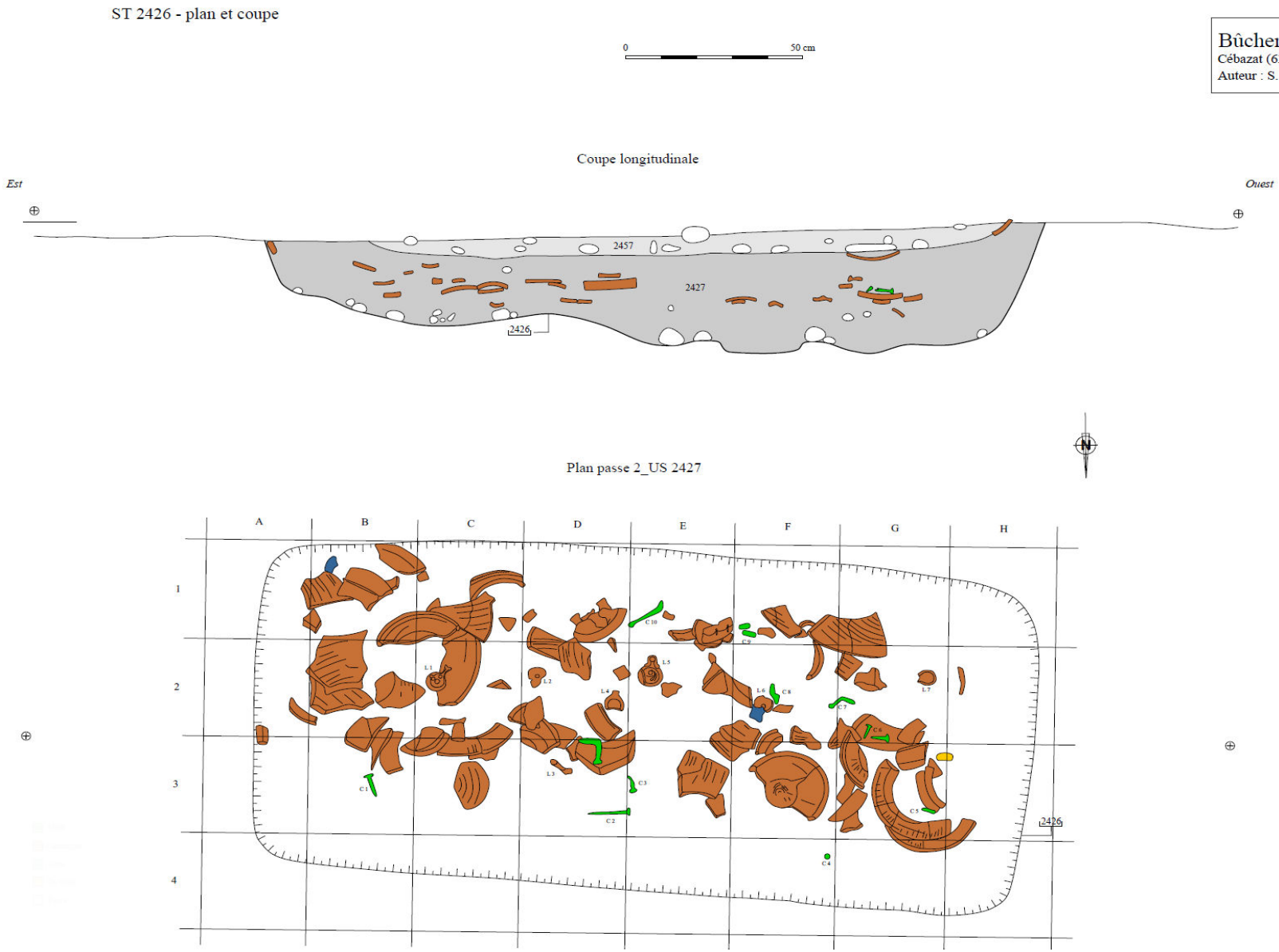


FIGURE 253 - Plan général du bûcher funéraire 2426, ÉVEHA.

b. Résultats anthracologiques

L'étude anthracologique du bûcher funéraire 2426 a été menée par V. BELLAVIA. Pour l'US 2427, elle a observé 430 fragments de charbons de bois parmi lesquels 57,67% sont en hêtre et 28,84% en sapin. On note la présence de Rosacée/Maloidée, d'if et d'un potentiel frêne (*cf. Fraxinus*) (TABLEAU 259). Les données anthracologiques sont en cours de traitement pour l'élaboration du rapport final d'opération, aussi, la composition de chaque carré n'est pas connue à l'heure de la rédaction[650].

	Abies alba	*cf. Abies alba*	*Fagus*	*cf. Fagus*	*cf. Fraxinus*	*Rosaceae/Maloideae*	*Taxus baccata*	Indéterminables	Total
Effectif	124	2	248	4	1	35	2	14	**430**
%	28,84	0,47	57,67	0,93	0,23	8,14	0,47	3,26	**100**

TABLEAU 259 - Essences représentées au sein de l'US 2427, V. BELLAVIA.

c. Résultats entomologiques

Au fil de son analyse, V. BELLAVIA a enregistré de manière systématique sur chaque fragment de charbon, tout élément lié à la présence d'insectes, en particulier les galeries. Parmi les 430 fragments, 165 soit 38,37% de l'ensemble, présentaient des traces d'insectes xylophages, occasionnellement accompagnées de déformations (*cf. infra*). Les galeries présentes sur ces 165 fragments sont de même type et concernent *a priori* la(les) même(s) espèce(s)[651].

Au total, 244 galeries ont été répertoriées (PLANCHE 34 a à e). 214 d'entre elles, faisant environ 1 mm de diamètre, sont parallèles à obliques au fil du bois ou se présentent en réseaux (galeries se recoupant les unes sur les autres). Ce type de traces est typique de la famille des *Cossoninae* (charançons du bois). La vermoulure, parfois fondue, se présente sous la forme de petits grains hétérogènes (PLANCHE 34 f et g). Les 30 autres galeries, soit attestées sur du hêtre, n'ont, quant-à-elles, pas de vermoulure et sont de plus petites tailles : généralement inférieur à 0,8 mm de diamètre voire avoisinant les 0,4 mm. Ces dernières, correspondant à 4,72% de l'ensemble des infestations, ont pu été creusées par d'autres types d'arthropodes, pas forcément xylophages, intervenant dans la décomposition du bois et des moisissures ou par un autre xylophage encore non connu dans la clé d'identification.

On note également sur trois échantillons de hêtre, la présence de déformations du bois liées à l'infestation de celui-ci par un champignon de type pourriture cubique (PLANCHE 34 c et d)[652].

650 DELHOOF *ET AL.* en cours.
651 *Cf.* Tableau de détail n°260, Annexe 6, page 211-213.
652 MOSKA DEL HOYO *ET AL.* 2010, CTBA 1996.

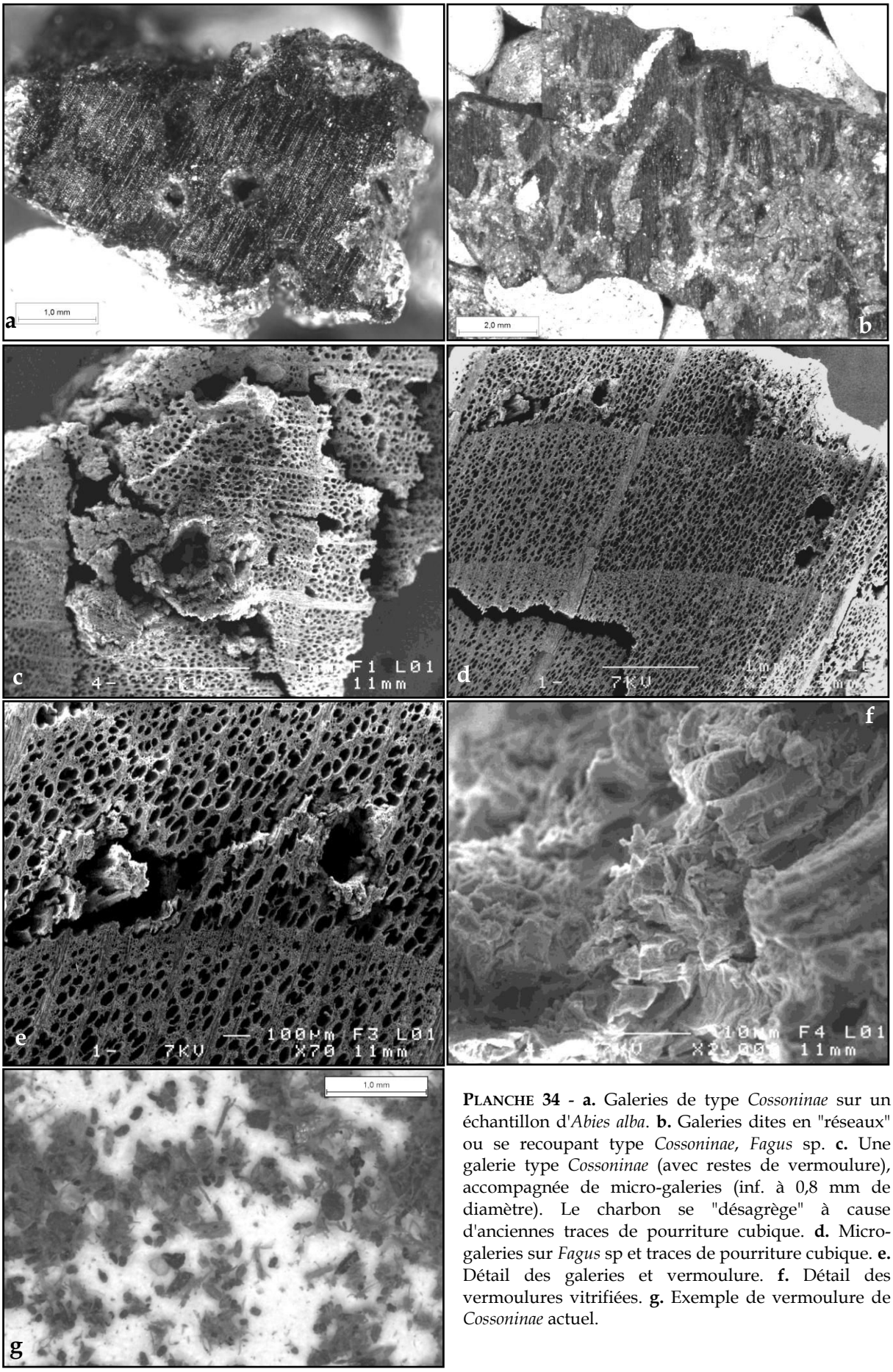


PLANCHE 34 - a. Galeries de type *Cossoninae* sur un échantillon d'*Abies alba*. **b.** Galeries dites en "réseaux" ou se recoupant type *Cossoninae*, *Fagus* sp. **c.** Une galerie type *Cossoninae* (avec restes de vermoulure), accompagnée de micro-galeries (inf. à 0,8 mm de diamètre). Le charbon se "désagrège" à cause d'anciennes traces de pourriture cubique. **d.** Micro-galeries sur *Fagus* sp et traces de pourriture cubique. **e.** Détail des galeries et vermoulure. **f.** Détail des vermoulures vitrifiées. **g.** Exemple de vermoulure de *Cossoninae* actuel.

L'ensemble du niveau comprend plusieurs taxons. Le frêne et l'if ne sont pas concernés par ces infestations. Les galeries observées se répartissent parmi le hêtre à plus de 75%, le sapin à 14,55% et les Rosacées/Maloidées à un peu plus de 10% (TABLEAU 261).

Essence	Nb de fragments infestés	Nb galeries
Fagus	124	186
Abies alba	24	36
Rosaceae / Maloidae	17	22
Total	**165**	**244**
%	**38,37**	**-**

TABLEAU 261 - Répartition des fragments, présentant des traces d'insectes xylophages, par essence ligneuse.

2. Hypothèses et interprétations

Le pourcentage de bois infesté s'élève à 38%, ce qui n'est pas négligeable compte tenu qu'il s'agit d'une structure close (un bûcher) et de dimensions plutôt modestes (2,10 x 1,10 m) par rapport à celles d'un plancher ou d'une charpente.

La famille de xylophage déterminée, les *Cossoninae*, correspond à un type de charançon du bois qui attaque le bois indépendamment de l'essence ligneuse (résineux, comme feuillus sans préférence). C'est-à-dire qu'il n'est pas inféodé à un type d'arbre en particulier mais qu'il possède une fenêtre nutritive plus large. Ce type de xylophage apparaît tout au long de l'année sur des bois en cours de décomposition et très humides. La larve creuse généralement des galeries dans le sens du fil de bois pendant six mois à un an. Elle s'attaque de préférence à l'aubier mais peut également, après ou en même temps que le champignon lignivore, s'en prendre au duramen, voire aux parties encore saines du bois[653]. C'est dans un second temps, au moment où le bois est déjà dans une dégradation avancée (perte significative de ses propriétés mécaniques et de sa texture originelle) qu'interviennent des agents secondaires de décomposition du bois afin de l'éliminer totalement et de le transformer en humus par exemple. Ces derniers ne sont pas à proprement parler des insectes : le terme d'arthropodes (type myriapodes ou acariens par exemple) est plus adapté. Ils ne sont pas nécessairement xylophages (d'où l'absence de vermoulure) mais peuvent traverser le bois afin d'aller chercher les éléments nutritifs dont ils ont besoin pour vivre (champignons, organismes liés à l'humidité...)[654].

La présence du champignon de type pourriture cubique est symptomatique d'un milieu humide imprégnant le bois. L'association des trois indique qu'il s'agirait de bois morts situés à même le sol en forêt. Ils auraient donc été récoltés afin de construire le bûcher. Il serait intéressant de connaître plus précisément la localisation de ces charbons au sein du carroyage de la structure afin de déterminer s'il s'agit de plusieurs éléments en bois infestés répartis dans toute la construction du bûcher ou s'il s'agit seulement de quelques pièces de bois concentrées à une zone de la construction. Enfin, en tant que combustible, le bois mort

653 HOFFMANN 1986 ; DAJOZ 2007.
654 DAJOZ 2007 ; NAGELEISEN *ET AL*. 2010.

n'est pas à exclure car il est très inflammable s'il a été préalablement séché et peut avoir des propriétés combustibles particulières[655].

À travers ce premier test d'évaluation de l'état sanitaire des bois employés dans la construction d'un bûcher funéraire, ce sont de nouvelles problématiques qui sont abordées ici : le choix du bois pour la crémation d'un défunt est-il déterminé par l'aspect rituel ? Ou les populations du passé faisaient-elles avec ce dont elles disposaient dans leur environnement ?

Dans le cas du bûcher 2426, un peu plus d'un tiers des bois provient directement de la forêt, mais ces bois ne semblent pas avoir été coupés pour l'occasion car ce ne sont pas des bois vert. Il s'agirait plutôt d'éléments en hêtre, sapin et en Rosacée/Maloidée, morts et récoltés directement sur le sol forestier. Ce premier test pourrait être comparé à des études paléoenvironnementales du secteur, voire de la région, afin d'affiner l'éventuelle localisation de ces lieux de récolte des matières premières pour le domaine funéraire.

[655] HENRY, THÉRY-PARISOT 2014.

III. TESTS SUR DES BOIS DE FEUX DE CUISINE ET DE FOYERS DOMESTIQUES

A. LES REJETS DE COMBUSTION DE CHASSENON (16) (IER S. APR. J.-C.)

1. Données brutes

a. Présentation des rejets de cuisine

L'opération menée en 2015 et dirigée par M. GRALL sur l'agglomération de *Cassinomagus*, en Charente Limousine, a notamment mit en évidence un édifice muni d'une cour. Au sein de ce dernier, des rejets de combustion, dont les charbons de bois ont été analysés par Ch. BELINGARD, ont fourni des galeries d'insectes xylophages. Repérée dans le sondage 7, la tranchée TR 61146 n'a été que partiellement fouillée car elle se poursuit au-delà de la berme sud du sondage[656]. Son creusement en cuvette (61146), a été observé sur une longueur de 2 m et une largeur maximale de 45 cm. Il est comblé par une seule et unique couche, l'US 61138 (FIGURE 254). Cette dernière se compose uniquement de charbons dont les dimensions varient pour atteindre un maximum de 5 cm d'épaisseur. Un important travail de prélèvement a été effectué afin de mieux comprendre ce dépôt. Il ne s'agit pas d'un élément qui a brûlé sur place car les charbons présentent différentes orientations qui infirment cette possibilité. La présence moindre de sédiment argileux mêlé aux charbons suppose que ces derniers relèvent de dépôts successifs, peut-être de vidanges de foyers.

Toutes deux se situent non loin de la tranchée TR 61146. La première a fait l'objet d'un prélèvement en vue d'une étude micromorphologique. Cette dernière interprète cette couche comme un rejet de combustion montrant des traces de piétinement, attestant que cet espace était fréquenté. La seconde a quant à elle été étudiée du point de vue anthracologique et micromorphologique. Le résultat tend vers l'hypothèse d'un rejet de foyer, à but plutôt artisanal[657].

FIGURE 254 - a. La tranchée TR 61146 après la fouille de l'US 61138. **b.** Cette dernière en place.

656 *Cf.* Chapitre III, pages 172.
657 GRALL *ET AL.* 2017A.

b. Analyse anthracologique et entomologique

- Anthracologie

L'étude anthracologique de l'US 61138 a été menée par Christelle BELINGARD[658]. Elle a observé 290 fragments de charbons de bois parmi lesquels 62,76% sont en hêtre, 33,10% en chêne F. C., 3,45% en noisetier et 0,69% en érable (TABLEAU 262)[659]. Au fil de son analyse, elle a observé et noté systématiquement les galeries « ou trous » qu'elle a rencontrées au microscope. Ces traces ont été ré-observées spécifiquement pour ce dossier.

- Entomologie

L'US 61138 est un dépôt où 42,07% des charbons sont infestés : la moitié des fragments d'érables et de hêtre, 40% des fragments de noisetier et seulement 17% des chênes F. C[660].

Taxon	Nb charbons	Nb avec traces de xylophages	%
Acer	2	1	50
Corylus avellana	10	4	40
Fagus sylvatica	182	101	55
Quercus F. C.	96	16	17
Total	**290**	**122**	42,07

TABLEAU 262 - Essences représentées au sein de l'US 61138, et proportions des fragments infestés, CH. BELINGARD.

Le niveau a été subdivisé en deux lors de la fouille : une partie supérieure[661] ou surface de l'US (TABLEAU 265 a), et une partie inférieure[662] correspondant au fond de la couche (TABLEAU 265 b). Un total de 465 galeries a été observé. Les hyphes ainsi que les déformations liées à de la pourriture cubique n'ont pas été repérées. Le hêtre est particulièrement infesté et regroupe 87% des galeries observées contre 8% pour le chêne, 4% pour l'érable et 1% pour le noisetier (FIGURE 255).

a.

Taxon	Nb charbons	Nb de galeries
Fagus sylvatica	29	120
Quercus F. C.	19	27
Total	**48**	**147**

b.

Taxon	Nb charbons	Nb de galeries
Acer	2	18
Corylus avellana	10	5
Fagus sylvatica	153	285
Quercus F. C.	77	10
Total	**242**	**318**

TABLEAU 265 - Proportion des galeries observées par essences et par niveau de l'US 61138 **a.** Partie supérieure. **b.** Partie inférieure.

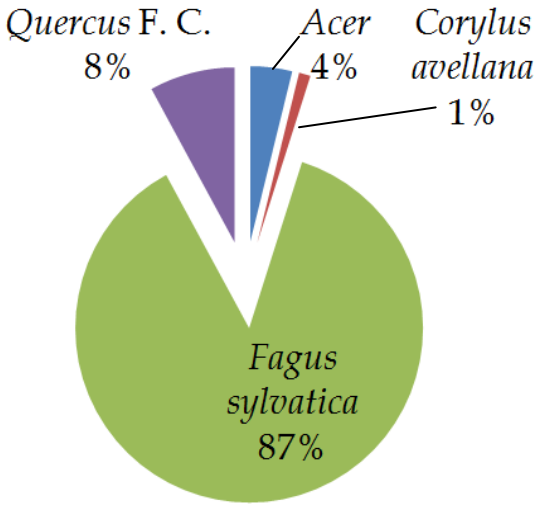


FIGURE 255 - Proportion des infestations selon l'essence.

[658] Anthracologue, GEOLAB, UMR 6042, Université de Limoges.
[659] GRALL *ET AL*. 2017A.
[660] *Cf.* Tableau de détail n°263, Annexe 6, page 214.
[661] Représentée en annexe par les numéros PV2015-134 ; 135 ; 12.
[662] Représentée en annexe par les numéros PV2015-136 ; 137 ; 138 ; 139.

Plus de 78% des galeries sont typiques de la famille des charançons du bois (*Cossoninae*) avec des galeries formant des réseaux se recoupant entre elles et contenant de la vermoulure fine et hétérogène et concernent essentiellement les charbons de hêtre et d'érable (TABLEAU 266 ; PLANCHE 35 c, e à h).

12,47% des galeries semblent cibler en particulier le bois initial (PLANCHE 35 d). Cette pratique d'infestation du bois est connue chez la famille du lycte (Lyctidae[663]). Or les espèces connues pour l'heure dans la clé de référence n'attaquent que les feuillus ayant de gros vaisseaux comme le chêne, l'orme ou le frêne par exemple. Peut-être s'agit-il d'une espèce qui n'a pas encore été étudiée. L'analyse de la vermoulure a fourni un ensemble fin mais trop fondu pour discerner d'éventuelles unités. De plus, les galeries du lycte sont normalement bien rondes alors qu'ici elles ont une forme plutôt irrégulière. Dans le doute, il a été préférable de noter ces galeries : Cossoninae/Lyctidae.

Toutes les galeries présentes sur les charbons de chêne ont été notées *cf. Lyctus*, car, contrairement au hêtre, la zone poreuse est de taille suffisamment importante pour que la femelle lycte viennent pondre[664] (PLANCHE 35 a et b).

Enfin, exclusivement pour le noisetier, les galeries ne présentaient pas de caractères discriminants pour les identifier. Seule leur petite taille, inférieure à 1 mm de diamètre, peut tendre vers l'idée de petits *Cossoninae* ou bien d'agents secondaires intervenant dans la décomposition du bois.

US	Nb total de charbons analysés	Nb. Galeries	*Cossoninae*	*Cossoninae/Lyctidae*	*Cf. Lyctus*	Indeterminés
Acer	2	18	18	0	0	0
Corylus	10	5	0	0	0	5
Fagus	182	405	347	58	0	0
Quercus	96	37	0	0	37	0
TOTAUX	**290**	**465**	**365**	**58**	**37**	**5**
%	**-**	**100**	**78,49**	**12,47**	**7,96**	**1,08**

TABLEAU 266 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les charbons de l'US 61138.

663 *Cf.* Volume III, page 93.
664 CRIVELLARO *ET AL.* en cours.

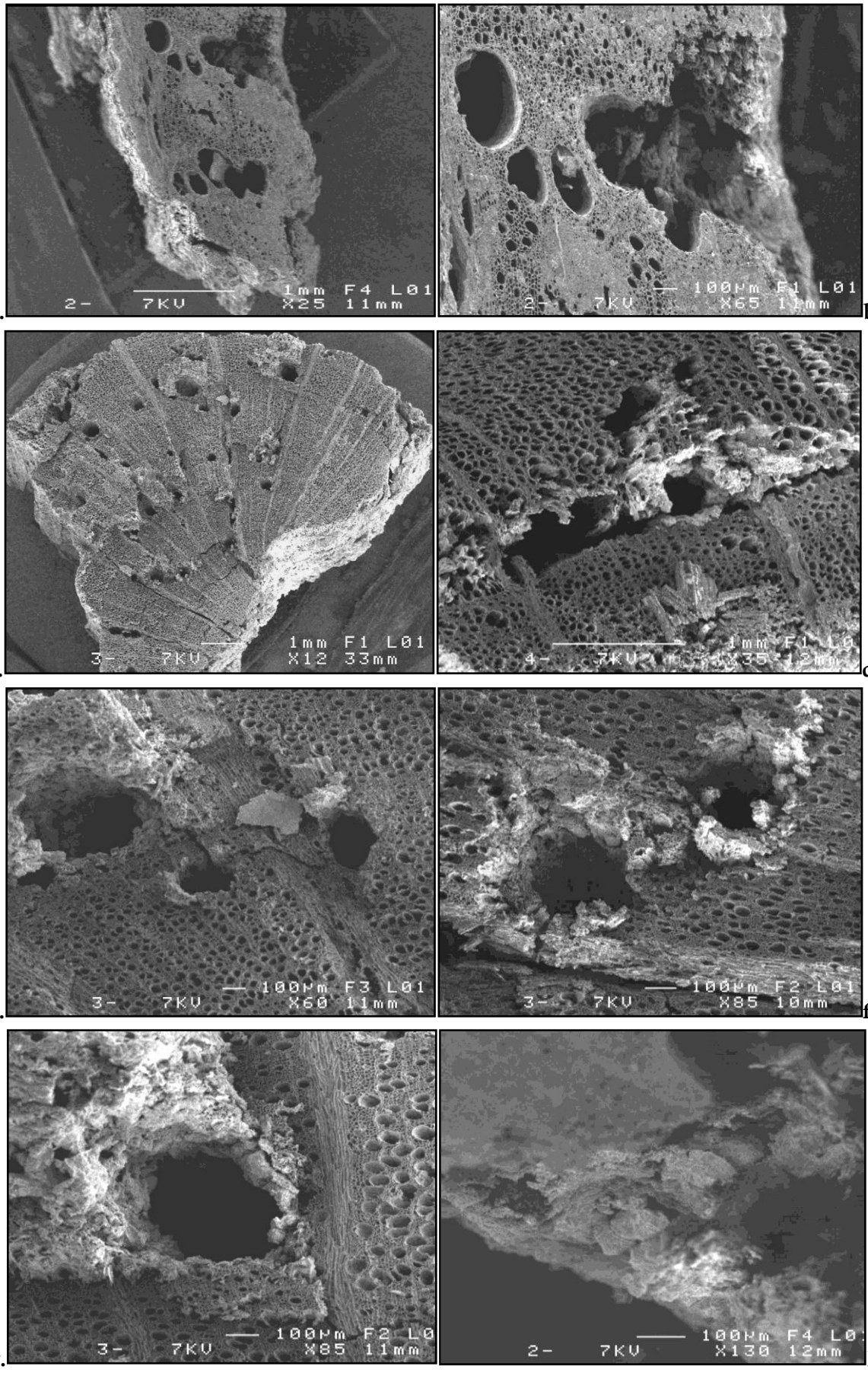


PLANCHE 35 - a et b. Galeries de type *cf. Lyctus* sur un échantillon de chêne. **c à f.** Galeries rondes à irrégulières de types Cossoninae ou Lyctidae que du hêtre. **g et h.** Vermoulure hétérogène, fondue.

2. Hypothèses et interprétations

Un peu plus de 40% de l'ensemble du rejet de foyer est infesté par des insectes xylophages. La forte présence de la famille des *Cossoninae* indique que les populations ont choisi des bois infestés et humides (érable et hêtre) à faire brûler. L'absence d'observation de la pourriture cubique démontre toutefois que les bois n'étaient pas à un stade de forte décomposition contrairement aux bois de Maison blanche - Champ Roche (*cf. supra*) et de Châteaubleau (*cf. infra*). À l'inverse, les petites galeries présentes sur le noisetier pourraient indiquer un état plus critique du bois. Or, compte tenu du faible nombre de fragment, cet état de fait demeure une hypothèse. Enfin, le chêne est probablement attaqué par du lycte au moment où celui-ci est utilisé dans le foyer. Cette espèce est principalement inféodée aux bois secs, généralement du bois d'œuvre mais il peut aussi être trouvé sur des bois non traités, écorcés et en cours de stockage.

L'analyse entomologique de bois provenant de foyers domestiques soulève des questions intéressantes tel qu'un recyclage en combustible de bois dégradés (meubles, aménagement, construction). Il convient de rappeler que cette question s'est posée pour l'US 4095 du site du col d'Adon[665], où les hypothèses tendent soit vers une vidange de foyer et un incendie qui a brûlé une structure ouvragée (huisserie), soit simplement vers une vidange de foyer dans lequel aurait été utilisé du bois d'œuvre.

Finalement, dans le cas des rejets de cuisine de Chassenon, il n'y a pas clairement de structure ouvragée identifiée à la fouille. L'ensemble des bois ont très bien pu être infestés lors d'une phase de stockage où le lycte, les *Cossoninae* et d'autres espèces peuvent cohabiter sans problème ou bien, les bois choisis pour être brûlés ont différentes origines : bois mort et/ou stocké et bois d'œuvre (chêne).

[665] *Cf.* Chapitre IV, page 257-259.

B. LES FOYERS DES THERMES DES POIRIERS (83) (90-230 apr. J.-C.)

1. Données brutes

a. Présentation des foyers

Situé en plein centre ville de la ville de Fréjus, le site de l'école des Poiriers, fouillé par le Service Archéologique de la ville a révélé un quartier composé notamment de thermes (zone 4) ainsi que d'une zone de stockage (*dolia* ; zone 3). Deux foyers de la zone 4 ont été analysés pour cette étude anthracologique. L'étude s'est intégrée au sein d'une analyse anthracologique plus large traitant des sols de circulation, des forges, de comblements de fosses et de *dolia*[666] (FIGURE 256). Pour ce travail, l'intérêt se porte plus particulièrement sur les bois provenant des foyers 400 097 et 400 243 (TABLEAU 267)[667].

FIGURE 256 - Rappel des zones de fouille de l'école des Poiriers, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.

US	N° de prélèvement	Zone	Volume (en L)	Type de prélèvement	Phase Chronologique
400 097	21	4	3	Fond de Foyer	5b
400 243	98	4	0,25	Foyer	4a

TABLEAU 267 - Unités stratigraphiques de type foyer analysées sur le site des Poiriers.

666 *Cf.* Chapitre III, page 167.
667 EXCOFFON *ET ALI.* 2016.

L'US 400 097 est un foyer (ou rejet de foyer) situé dans les ruines des bains de la phase d'occupation précédente. Il s'agit probablement d'une réoccupation tardive des lieux. Il est situé sur le scellement de l'occupation antérieure, constitué par deux niveaux d'effondrement qui ont été repérés à la fouille dans plusieurs salles des thermes et dans le portique (FIGURE 257).

FIGURE 257 - Vue de l'intérieur des bains et de l'épandage de 400 097, cl. SAPVF.

L'US 400 243 est une concentration charbonneuse présente dans la chambre de chauffe du secteur nord-ouest des thermes (FIGURE 258). Ce niveau limoneux et charbonneux fonctionne avec des restructurations de l'espace. Ce foyer semble être un des derniers niveaux de fonctionnement de l'entretien d'un bassin de chauffe.

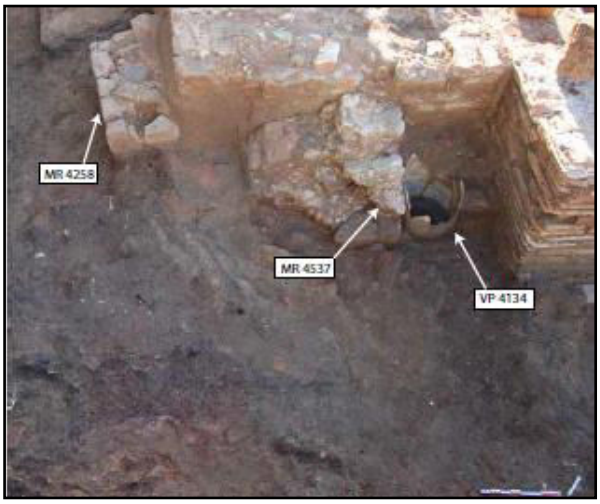


FIGURE 258 - Vue du dégagement situé au nord de la chambre de chauffe, 400 243 correspond au sol charbonneux, cl. SAPVF.

b. Résultats anthracologiques et entomologiques

Pour l'ensemble des structures analysées, un total de huit taxons pour 200 charbons de bois a été observé et identifié. Si l'on se penche sur les particularités des bois identifiés, il faut constater d'une manière générale que la vitrification est moyenne (niveau 1 à 3), et la calcification peu importante (niveau 1 à 2) (TABLEAU 268)[668].

	Abies alba	*Erica*	*Myrtus*	*Olea europaea*	*Phillyrea/Rhamnus*	*Quercus* F. P.	*Quercus ilex/coccifera*	Angiospermes indéterminables	TOTAUX
400 097	0	1	13	1	2	12	110	1	**140**
400 243	60	0	0	0	0	0	0	0	**60**
TOTAUX	**60**	**1**	**13**	**1**	**2**	**12**	**110**	**1**	**200**
%	**30**	**0,5**	**6,5**	**0,5**	**1**	**6**	**55**	**0,5**	**100**

TABLEAU 268 - Tableau général des structures par unité stratigraphique et essences ligneuses.

[668] *Cf.* Tableaux de détail n°269 et 270 et courbe d'effort-rendement FIGURE 259, en Annexe 6, page 218-219.

- US 400 097

Ainsi, 140 charbons ont été étudiés et plusieurs essences sont attestées (FIGURE 260) dans ce niveau. Le chêne vert/kermès est en première position (78,6%), suivi du myrte (9,3%), du chêne à feuillage persistant (F. P.)[669] (8,6%), de deux fragments de filaire/nerpruns (1,4%), d'un bout de bruyère (0,7%) et un fragment d'olivier (0,7%). Un seul fragment reste noté Angiosperme indéterminable. Les thylles sont bien visibles sur tous les chênes.

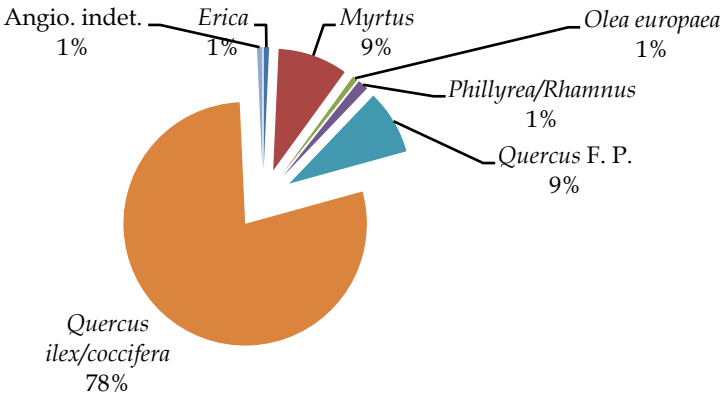


FIGURE 260 - Graphique en secteur des proportions des essences de l'US 400 097.

Une vingtaine de brindilles en chêne vert/kermès ont été observées et mesurées. Leur état de conservation est tel qu'il a été possible de restituer le diamètre minimal de chacune d'elle. La majorité mesure entre 1,1 et 3 cm de diamètre (FIGURE 261). En tout, seulement trois écorces ont été observées dont deux lisibles, indiquant un abattage survenu plutôt en début d'automne (début BF et transition BI/BF).

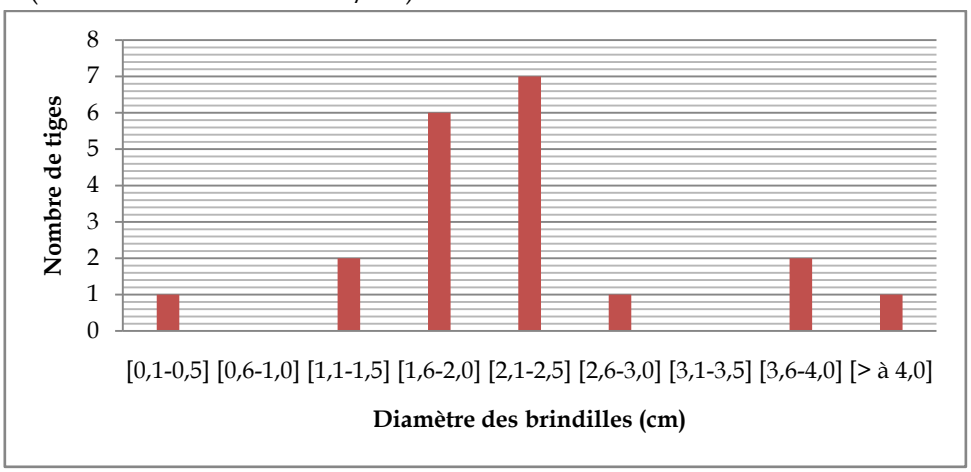


FIGURE 261 - Histogramme de répartition des diamètres des bois de l'US 400 097.

Pour l'ensemble des fragments carbonisés observés, aucun ne présente de trace d'insecte xylophage, ni de déformation liée à de la pourriture cubique, ni d'hyphe ou d'arthropode récents.

[669] Manque de caractères discriminants pour être sûr qu'il ne s'agissait pas de chêne liège.

- US 400 243

Cette US, considérée comme un foyer de chauffe pour un bain des thermes, est constitué exclusivement de sapin (*Abies alba*). Les charbons présentent très peu de bois de compression.

Plus de la moitié des fragments (42), soit 70%, présente également des galeries d'insectes. Les vermoulures fusiformes sont petites et friables, typique d'*Anobium punctatum* pour un total de 64 galeries rondes.

2. Hypothèses et interprétations

Les essences attestées dans les foyers du site des Poiriers sont logiquement très proches biogéographiquement de celles identifiées pour le site de Camelin[670]. En effet, elles proviennent des formations basses arbustives méditerranéennes de maquis ou de garrigue (bruyère, myrte, chêne vert et filaire/nerprun). En revanche, le pin d'Alep n'est pas utilisé dans ces foyers.

L'étude du bois dans le cadre de foyers domestiques et de fonctionnement des thermes révèle l'utilisation de petites essences locales (400 097) mais également de bois exogène (400243) tel que le sapin. Ce dernier est probablement un bois de réemploi vu les traces d'insectes l'accompagnant. Ces foyers sont symptomatiques d'un geste à un instant précis. Le sapin est probablement du bois de tronc ayant poussé sur une surface plane (bois de compression quasi-absent). Il s'agit plutôt d'une bûche utilisée dans le foyer, peut-être même d'un reste de bois d'œuvre. Il convient de s'intéresser à sa provenance, probablement originaire de l'arrière-pays du *Forum Iulii*, comme l'interprétation avancée pour les bois d'œuvre de Camelin.

[670] *Cf.* Chapitre IV, page 361-362 ; *cf.* conclusion générale.

IV. ÉTAT SANITAIRE DES BOIS DE COMBUSTION : LES FOURS

A. LES FOURS DE L'ÎLOT CAMELIN (83) (27 AV. - 50 APR. J.-C.)

1. Données brutes

a. Présentation des fours

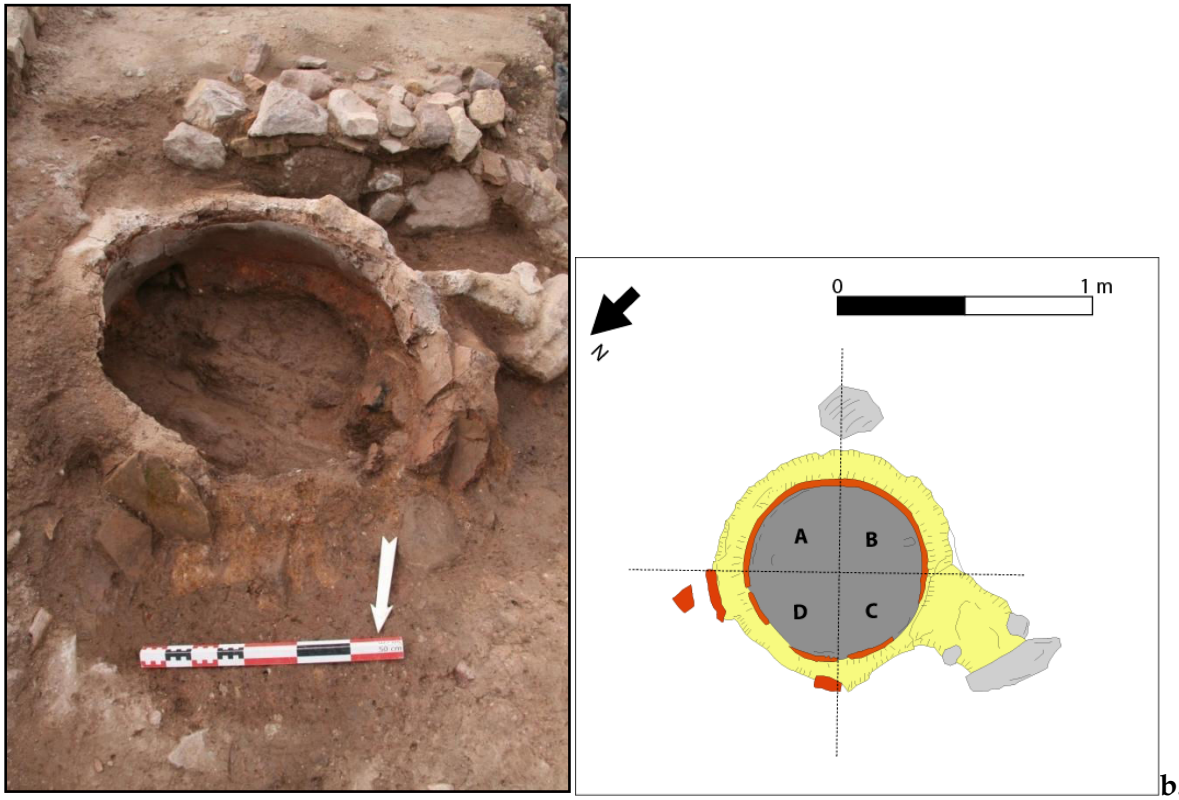
À nouveau situé dans le centre ville de Fréjus, mais localisé rue Camelin, un îlot cerclé de rues a été mis au jour par le service de la ville en 2013[671]. Trois fours contemporains, qui appartiennent à la phase d'occupation 2b, tout comme les structures ouvragées décrites et analysées précédemment[672], ont été prélevés et analysés. L'ensemble correspond à un total de sept comblements charbonneux (FIGURE 262)[673].

FIGURE 262 - Localisation des fours étudiés pour le site de l'îlot Camelin, DAO SAPVF.

[671] *Cf.* Chapitre III, pages 135.
[672] *Cf.* Chapitre IV, pages 312.
[673] EXCOFFON *ET AL.* à paraître.

- FR 3137

Le four le plus à l'est de l'îlot, FR 3137, est une structure avec une voûte en forme de cloche avec un sommet ouvert, cassé et partiellement arasé par les niveaux plus tardifs, dont le diamètre à la base est de 0,95 m pour une hauteur totale de 0,35 m. Ses parois sont constituées d'argile de couleur orangé, épaisse de 10 cm (FIGURE 263 a). Son comblement (US 3155) est argilo-limoneux brun clair charbonneux, formant une tâche noire centrale avec quelques fragments d'argile rubéfiée. L'US 3155 a été divisée en quatre carrés (A, B, C et D) puis prélevée (FIGURE 263 b).



a. **b.**

FIGURE 263 - Four 3137 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. M. TORITI.

- FR 3325

Toujours au sud de l'îlot, FR 3325 correspond à une structure rectangulaire, longue de 3 m (nord-sud) (FIGURE 264 a). Le fond est creusé dans le substrat sur environ 20 cm et les parois, dont la partie supérieure est faite en moellons et en blocs de grès équarris liés à la terre, portent des traces de rubéfaction. Le comblement de cette structure présente des niveaux de fonctionnement charbonneux (US 3690 et 3691). Sur la partie nord, se situe un épandage de charbons en forme de croissant ou de demi-cercle épais de quelques centimètres (US 3663). Il s'agit peut-être des déchets charbonneux et cendreux du foyer, plus haut que le fond de la partie rectangulaire. Les US 3663, 3690 et 3691 ont été prélevées par carroyage (de 50 cm de large) puis analysées (FIGURE 264 b).

a.

b.

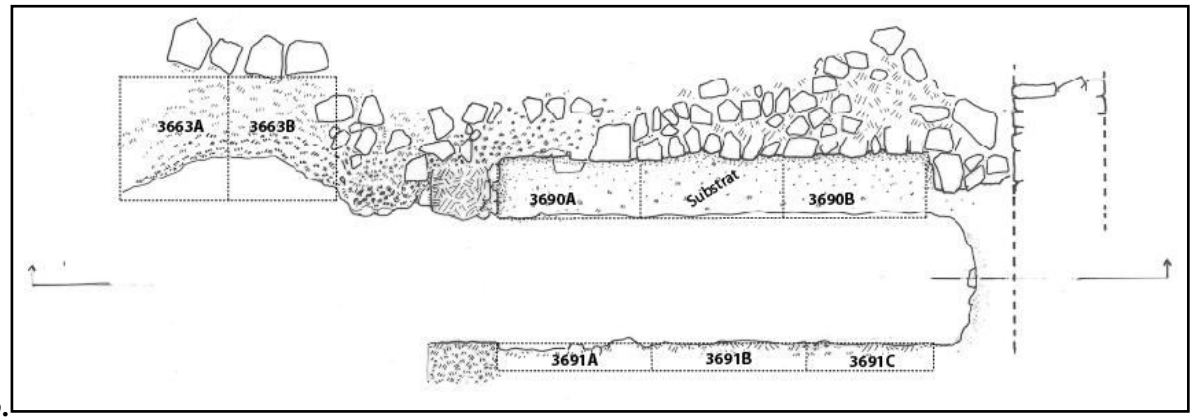


FIGURE 264 - Four 3325 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. SAPVF.

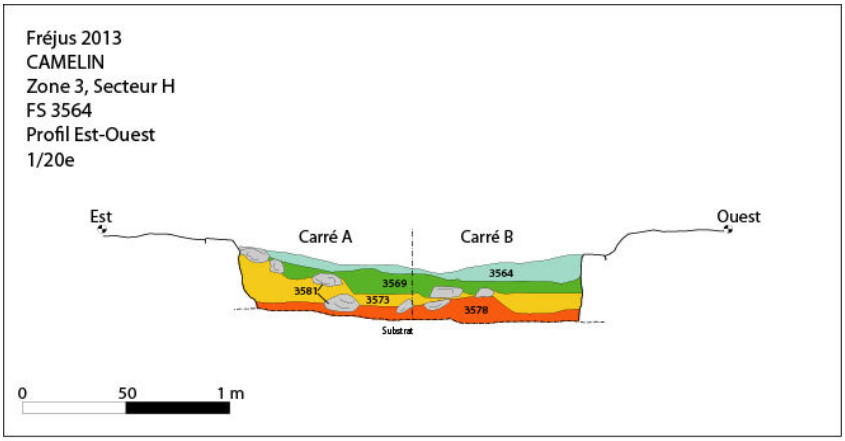
- FR 3564

La structure artisanale FR 3564 apparaît à la fouille comme une fosse-foyer dont le plan suit une forme triangulaire avec les angles arrondis (FIGURE 265 a). Les parois sont verticales avec des traces de rubéfaction rouge. Le substrat constitue le fond de la fosse. Le remplissage est essentiellement charbonneux (US 3564, US 3569 et US 3578) avec, entre ces deux comblements, une couche de pierre de grès et de schistes parfois posées à plat mais sans organisation et une couche plus argileuse (US 3581 et US 3573) (FIGURE 265 b).

Les trois US charbonneuses de comblement (3564, 3569 et 3578) ont fait l'objet d'un prélèvement par carroyage : A, B, C et D (FIGURE 265 c).

a.

b.



c.

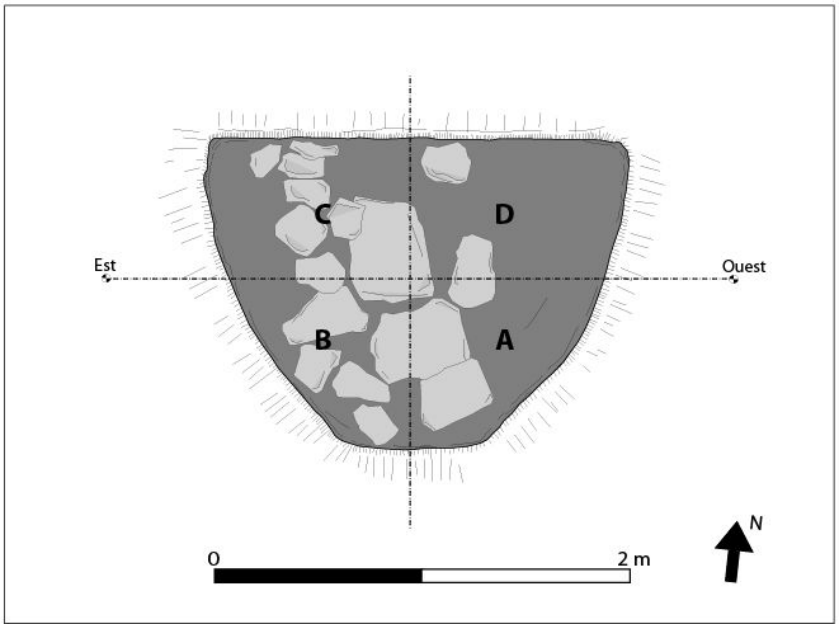


FIGURE 265 - Four 3564 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Coupe stratigraphique de l'intérieur de la fosse-foyer **c.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. M. TORITI.

b. Résultats bruts anthracologiques et entomologiques

Pour l'ensemble des structures analysées, un total 13 taxons, sur 2174 charbons de bois, a été observé et identifié pour l'ensemble des secteurs (TABLEAU 271). Pour ce qui est de la particularité des bois, on constate, d'une manière générale, que la vitrification est forte (niveau 3 à 4) et la calcification moyenne (niveau 2 à 3). Par conséquent, l'observation anthracologique et entomologique en a été gênée, ce qui explique le grand nombre de fragments indéterminables.

		Arbutus unedo	*Cistus*	*Cistaceae*	*Cistaceae/Myrtaceae*	*Erica arborea*	*Erica*	*Ericaceae*	*Juniperus*	*Pinus halepensis*	*Quercus F. P.*	Indéterminés	Angiospermes indéterminables	Indéterminables	TOTAUX
FR 3137	**3155**	4	0	0	1	2	33	13	1	0	3	1	16	0	**74**
FR 3325	**3564**	0	1	1	0	25	250	14	0	0	0	0	9	0	**300**
	3569	0	0	0	0	16	376	176	0	0	0	0	32	0	**600**
	3578	0	1	0	0	6	210	308	0	1	0	0	72	2	**600**
FR 3564	**3663**	0	0	0	0	0	110	38	0	0	0	0	2	0	**150**
	3690	0	0	0	0	1	105	93	0	0	0	0	1	0	**200**
	3691	0	0	0	0	8	176	55	0	0	0	0	10	1	**250**
TOTAUX		**4**	**2**	**1**	**1**	**58**	**1260**	**697**	**1**	**1**	**3**	**1**	**142**	**3**	**2174**
%		**0,18**	**0,09**	**0,05**	**0,05**	**2,67**	**57,96**	**32,06**	**0,05**	**0,05**	**0,14**	**0,05**	**6,53**	**0,14**	**100**

TABLEAU 271 - Tableau général des structures artisanales par unité stratigraphique et essences ligneuses.

C'est ainsi qu'un bon nombre d'échantillons, trop vitrifiés, n'ont pu être identifiés au niveau spécifique, les éléments anatomiques du bois ne se discriminant pas. Ainsi, 6,53% (soit 142 charbons) ont été notés angiospermes indéterminables. Quelques charbons sont restés notés gymnosperme indéterminable : 0,14%, soit 3 fragments. Enfin, quatre fragments demeurent totalement indéterminés.

Pour les gymnospermes, l'ensemble des échantillons analysés ne compte qu'un fragment de *Juniperus*, soit 0,05% et qu'un seul charbon de *Pinus halepensis*, soit 0,05%, présenté précédemment.

Pour les angiospermes, la bruyère arborescente (*Erica arborea*) est présente à 2,67%. Le taxon *Erica* ne présente pas de rayons suffisamment larges pour affirmer qu'il s'agit d'*Erica arborea* ou identifier une autre espèce. C'est l'essence la plus représentée au sein des fours à un taux de 57,96% soit 1260. De même, les individus plus vitrifiés, 32,06% (697 charbons), mais possédant toutefois les ponctuations caractéristiques, ont été rapportés au groupe *Ericaceae*. Ainsi, les taxons de bruyères représentent près de 90% de l'ensemble des bois.

L'arbousier (*Arbutus unedo*) est présent à 0,18% pour l'ensemble des structures d'artisanat. Deux fragments représentent le taxon *Cistus*, soit 0,09% sur les 2174 charbons au total. Il faut y ajouter un fragment de *Cistaceae* soit 0,05% dont la caractérisation n'a pu être approfondie en en raison d'une vitrification trop importante. De même, mais avec des ponctuations plus

atypiques, un fragment a été rapporté au taxon *Cistaceae/Myrtaceae*. Trois charbons, 0,14%, sont affiliés au *Quercus* à feuillage persistant (F. P.), plutôt vitrifiés.

- FR3137

Le niveau de fonctionnement du four a livré au total 74 charbons présentant une vitrification ainsi qu'une calcification moyenne (niveau 2 à 3). Une courbe d'effort-rendement a été effectuée[674], elle n'est pas encore stabilisée, mais les prélèvements n'ont pas donné plus de charbons de bois (TABLEAU 272 ; FIGURE 266)[675]. Les bruyères sont majoritaires au sein de cette structure, représentant un peu plus de 64% des taxons (*Erica arborea, Erica, Ericaceae*) et attestées dans chacun des carrés de prélèvement. Les angiospermes indéterminables, de par une vitrification plus élevée, sont présentes à 21,6%. Vient ensuite l'arbousier à 5,4%, apparaissant dans les carrés A, B et C. Trois fragments de chêne à feuillage persistant, soit 4%, sont également présents dans les carrés B et D. On compte également un charbon de genévrier dans le carré C, un fragment de *Cistaceae/Myrtaceae* (carré A) et un indéterminé (carré C) (FIGURE 268).

	Arbutus unedo	*Cistaceae/Myrtaceae*	*Erica arborea*	*Erica*	*Ericaceae*	*Juniperus*	*Quercus* à feuillage persistant	Indéterminés	Angiosperme indéterminable	TOTAUX
3155A	1	1	0	0	1	0	0	0	1	**4**
3155B	1	0	1	19	7	0	2	0	10	**40**
3155C	2	0	0	6	1	0	0	1	0	**10**
3155D	0	0	1	8	4	1	1	0	5	**20**
TOTAUX	**4**	**1**	**2**	**33**	**13**	**1**	**3**	**1**	**16**	**74**
%	**5,4**	**1,4**	**2,8**	**44,5**	**17,5**	**1,4**	**4**	**1,4**	**21,6**	**100**

TABLEAU 272 - Tableau des taxons observés dans le four FR 3137, répartition par carroyage.

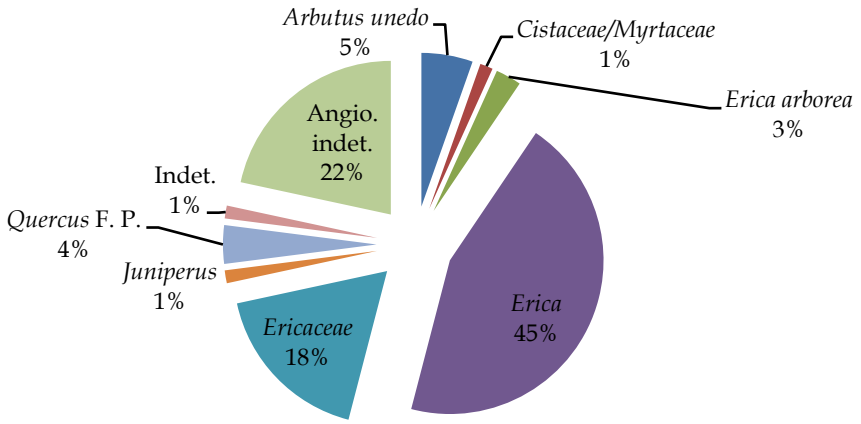


FIGURE 266 - Proportions des essences de bois issues de FR 3137.

[674] *Cf.* FIGURE 267- Annexe 6, page 222.
[675] *Cf.* Tableaux de détail n°273 à 276, Annexe 6, page 221.

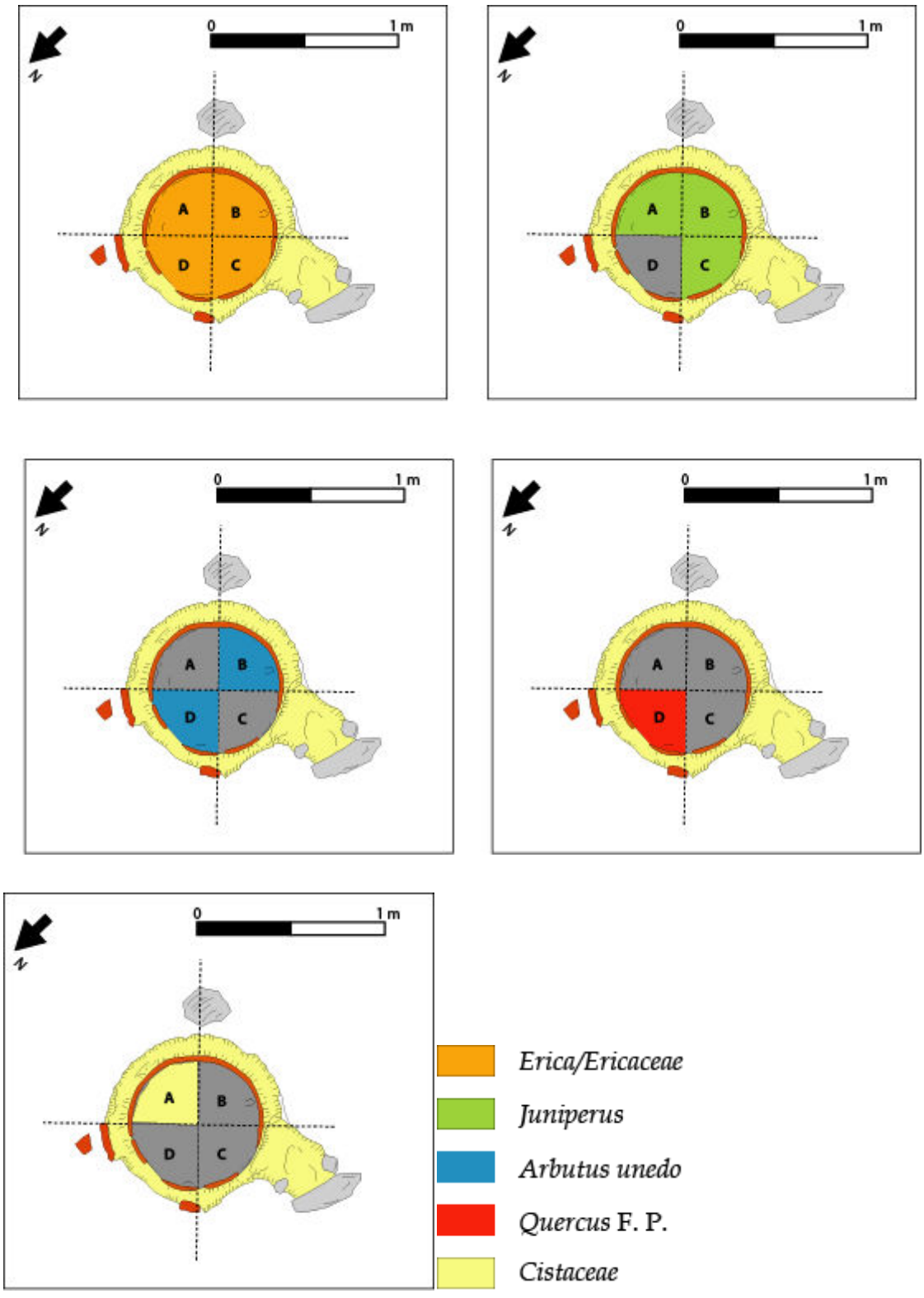


FIGURE 268 - Localisation des taxons selon les carrés de prélèvement FR 3137, DAO. M. TORITI.

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

- FR 3325

Pour sept carrés, un total de 600 charbons a été observé[676]. D'une manière générale, la vitrification est moyenne à forte (niveau 3 à 4) et la calcification plutôt basse (niveau 1 à 2). Pour l'ensemble des US, les essences représentées sont homogènes. En effet, il ne s'agit que de bruyères, plus ou moins déterminables selon leur degré de vitrification (TABLEAU 277 ; FIGURE 269).

	Erica arborea	*Erica*	*Ericaceae*	Angiosperme indéterminable	Indéterminable	TOTAUX
3663A	0	31	19	0	0	**50**
3663B	0	79	19	2	0	**100**
3690A	1	53	45	1	0	**100**
3690B	0	52	48	0	0	**100**
3691A	2	91	7	0	0	**100**
3691B	0	67	32	0	1	**100**
3691C	6	18	16	10	0	**50**
TOTAUX	**9**	**391**	**186**	**13**	**1**	600
%	**1,5**	**65,2**	**31**	**2,1**	**0,2**	100

TABLEAU 277 - Tableau des taxons observés dans le four FR 3325, répartition par carroyage.

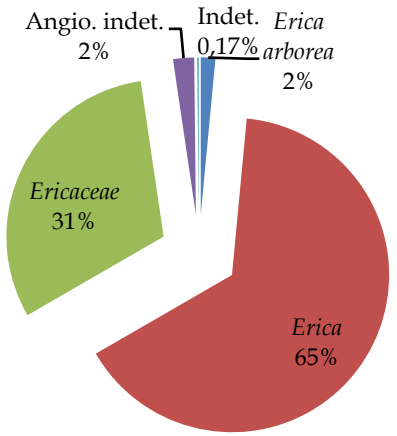


FIGURE 269 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de FR 3325.

Quelques échantillons présentaient des particularités : nœuds, brindilles et écorce. Le calibre des bois utilisés dans ce four semble être un peu plus important que pour FR 3564 (*cf. infra*), notamment par la taille plus conséquente des nœuds et des charbons. Le diamètre des sept brindilles varie entre 0,4 et 0,6 cm.

[676] *Cf.* Tableaux de détail n° 278 à 284 et les courbes d'Effort-rendement FIGURE 270 à 272 - Annexe 6, page 223.

Parmi la douzaine d'écorce observées, seules deux donnent quelques indications sur la période d'abattage/de coupe de ces bruyères, après le printemps. La taille des bois intervient d'ordinaire lors de l'automne lorsque les sèves sont « endormies ». La saison représentée ici provient peut-être d'une commande particulière pour cet artisanat ou d'un déficit de stockage du bois (TABLEAU 285).

	Nœud	Brindille	Écorce	Saison d'abattage
3663A	0	2	2	-
3663B	4	3	9	Pas BI : après le Printemps
3690A	2	0	0	-
3690B	0	0	0	
3691A	6	1	1	Pas BI: après le Printemps
3691B	3	1	0	-
3691C	0	0	0	-
TOTAL	**15**	**7**	**12**	

TABLEAU 285 - Tableau des particularités des bois et saison d'abattage, FR 3325. BI : Bois Initial ; BF : Bois Final.

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

- FR 3564

Au total, 1500 charbons ont été analysés (TABLEAU 286 ; FIGURE 273), la vitrification est moyenne (niveau 2 à 3) et la calcification basse (niveau 1 à 2). Homogène, la structure comprend une faible diversité d'essences ligneuses dont le carroyage illustre les répartitions (FIGURE 274). On retrouve la bruyère majoritaire à presque 60%, la famille des Ericacées à 33,2%, les Indéterminables avec 7,65%, la bruyère arborescente à 3,2% et deux fragments de ciste, un de Cistacée et un de pin d'Alep (0,15 ; 0,05 et 0,05 %)[677].

L'US 3564 correspond au comblement supérieur de la structure. Deux carrés sur quatre ont été récupérés (B et D) et présentent un fragment de ciste, un de cistacée (carré D), des bruyères (arborescentes, Éricacée et *Erica*) et des angiospermes indéterminables.

L'US 3569 est une matrice charbonneuse indiquant qu'il s'agit soit d'une décharge du foyer soit des restes d'une combustion *in situ* dans la fosse. Les quatre carrés sont homogènes : bruyères et angiospermes indéterminables.

L'US 3578 représente le fond de la fosse-foyer sous les blocs de schiste et de grès. Les quatre carrés de prélèvement restent cependant homogènes tout comme l'US 3569, hormis le carré A qui présente un fragment de ciste et le carré B un fragment de pin d'Alep.

[677] *Cf.* Tableaux de détail n° 287 à 296 et les courbes d'Effort-rendement FIGURE 275 à 277 - Annexe 6, page 224-227.

	Cistus	*Cistaceae*	*Erica arborea*	*Erica*	*Ericaceae*	*Pinus halepensis*	Angiospermes indéterminables	Indéterminables	TOTAUX
3564B	0	0	14	125	8	0	3	0	**150**
3564D	1	1	11	125	6	0	6	0	**150**
3569A	0	0	1	66	66	0	17	0	**150**
3569B	0	0	3	106	39	0	2	0	**150**
3569C	0	0	7	116	21	0	6	0	**150**
3569D	0	0	5	88	50	0	7	0	**150**
3578A	1	0	1	66	66	0	15	1	**150**
3578B	0	0	5	53	71	1	20	0	**150**
3578C	0	0	0	47	87	0	16	0	**150**
3578D	0	0	0	44	84	0	21	1	**150**
TOTAUX	**2**	**1**	**47**	**836**	**498**	**1**	**113**	**2**	**1500**
%	**0,15**	**0,05**	**3,2**	**55,7**	**33,2**	**0,05**	**7,5**	**0,15**	**100**

TABLEAU 286 - Tableau des taxons observés dans la fosse-foyer FR 3564, répartition par carroyage et par US de comblement.

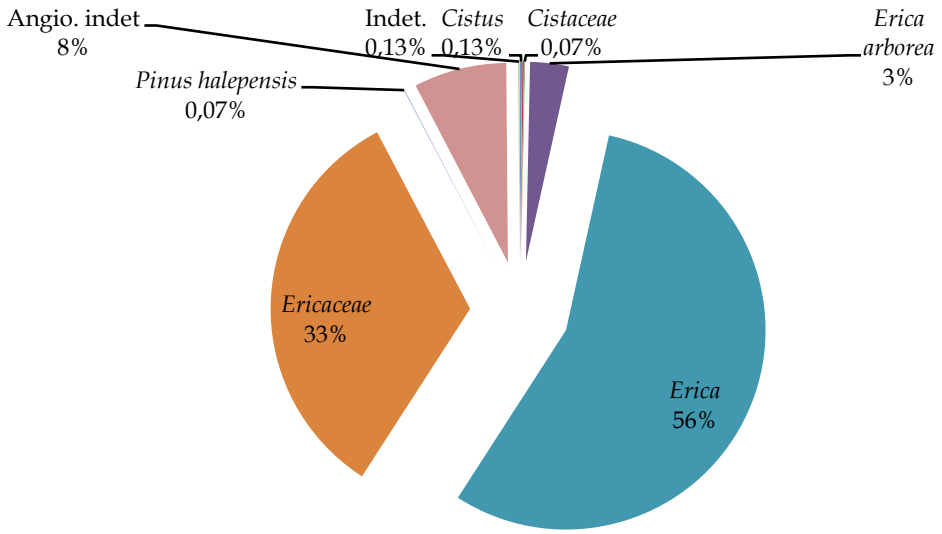


FIGURE 273 - Proportions des essences de bois issues de FR 3564.

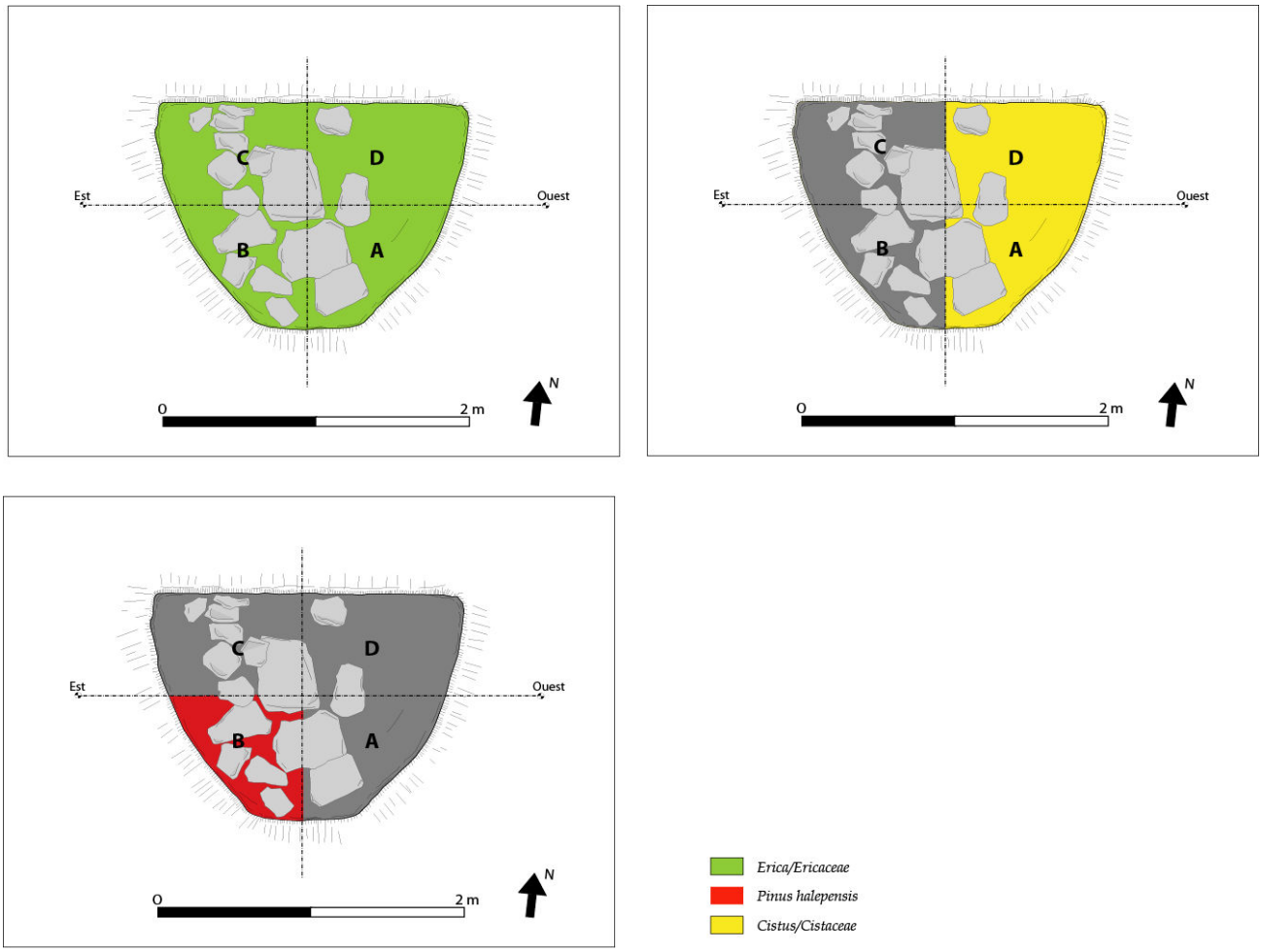


FIGURE 274 - Localisation des taxons selon les carrés de prélèvement FR 3564, DAO. M. TORITI.

Certains détails anatomiques du bois ont été repérés parmi les 1500 charbons. Il s'agit notamment de nombreuses brindilles qui conservaient parfois leur écorce (FIGURE 278). L'écorce marque la période de la coupe que l'on traduit par la présence ou absence du bois de printemps (bois initial) et/ou du bois d'hiver (bois final) au niveau du dernier cerne de croissance visible et de l'écorce. La tendance générale semble être, une coupe du bois au début de l'automne (TABLEAU 297).

De nombreux nœuds ont également été observés. Ces nœuds marquent, dans la plupart des cas des départs de brindilles ou de branches.

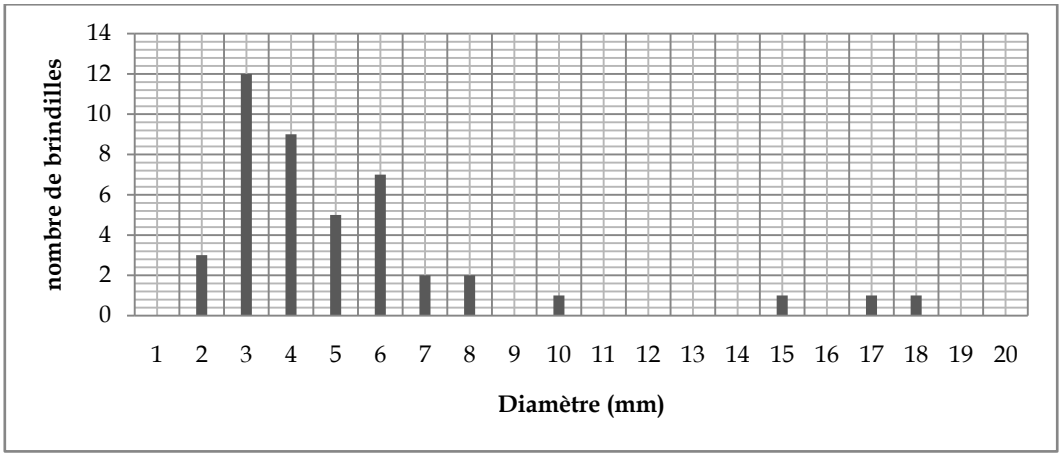


FIGURE 278 - Histogramme de répartition des diamètres des bois de FR 3564.

	Nœud	Brindille et moelle	Ecorce	Saison d'abattage
3564B	86	5	3	Transition BI/BF : début automne
3564D	93	2	1	Fin printemps/été
3569A	30	9	9	Transition BI/BF : début automne et BF : fin automne/hiver
3569B	62	11	14	Transition BI/BF : début automne et pas pendant le BI
3569C	89	7	7	Transition BI/BF : début automne
3569D	19	4	3	début BF : automne et fin BF : fin automne/hiver
3578A	10	2	0	-
3578B	15	3	2	BF : automne/hiver
3578C	6	1	0	-
3578D	8	0	0	-
TOTAL	**418**	**44**	**39**	

TABLEAU 297 - Tableau des particularités des bois et saison d'abattage, FR 3564. BI : Bois Initial ; BF : Bois Final.

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

2. Hypothèses et interprétations

Les structures à fonction artisanale de l'îlot Camelin utilisent toutes de la bruyère. Bon combustible, elle doit aussi être bien présente dans les alentours. La vitrification parfois importante induit une forte proportion d'indéterminables. Mis à part le chêne, d'autres petits ligneux sont utilisés au sein des fours, seules sources aux alentours ou efficacité d'allumage des feux, il s'agit en tout cas d'un choix humain et non pas d'un spectre environnemental.

Les bois choisis sont sains et ne présentent aucune trace d'infestation quelconque. Il faut toutefois noter que la bruyère est un bois dur, il semble naturellement être protégé des xylophages, hormis l'attaque possible de l'écorce par quelques espèces de cérambycides.

- FR 3137

En terme d'interprétation, il s'agit d'un petit four culinaire, probablement d'un four à pain, comme il y en de connu pour le monde antique, dans lequel il a été utilisé divers combustibles de petite taille (bruyère, Cistacée/Myrtacée, genévrier) pour le démarrage de la combustion (?) mais aussi de taille plus conséquente (chêne, arbousier) plutôt pour maintenir la température.

- FR 3325

Ce four allongé ne présente pas de mobilier particulier : pas de céramique, ni déchets de cuisson, ni verre. Juste quelques coquillages ont pu être retrouvés, ils semblent bien être passés au feu mais pas suffisamment à haute température pour les désagréger, en chaux par

exemple. Diverses hypothèses quant à sa fonction peuvent être avancées[678] : il s'agit soit d'un four à fonctions multiples, soit il permet de sécher des aliments[679], comme les coquillages, des viandes, des peaux ou d'autres objets, le tout en utilisant la bruyère comme combustible.

- FR 3564

Cette fosse-foyer, bien qu'analysée entièrement, reste énigmatique. À quoi servait-elle ? L'US 3519 recouvre l'ensemble de la structure et du secteur, la scellant alors par des remblais ultérieurs. FR 3564 semble être entier et non arasé (un dôme de chauffe en moins par exemple). De plus, ne possédant pas d'entrée en partie basse, la récupération devait s'effectuer par le dessus de la fosse. Mis à part les blocs de schistes et les charbons de petits calibres il n'y a aucun autre objet : ni céramique, ni faune, ni verre.

Des discussions se sont engagées avec Jacques THIRIOT[680] et Christophe VASCHALDE[681] pour avancer dans la compréhension de cette structure. Lorsque le schiste monte à 400/500°, il s'en écoule une substance collante, notamment à partir du schiste bitumineux, qui peut être utilisée à l'époque romaine comme substitut au goudron végétal par exemple. Il pourrait s'agir d'un four de ce type, d'autant plus que ce type de pierres de ne se trouve pas à proximité immédiate du site. Autre hypothèse, la bruyère fournit de très bons charbons de bois : cette fosse pourrait avoir comme but d'en créer à partir de petits calibres ; mais cette hypothèse ne résout pas la question de la présence des blocs de schiste.

L'ensemble des informations sur les brindilles tend vers l'idée que le calibre des bois utilisés dans le four, provient de petites branches et de petites brindilles (fûts des arbrisseaux, élagage, fagots...).

678 Discussion avec Christophe VASCHALDE.
679 Recherche de Bibliographie en cours.
680 Chercheur associé et directeur de Recherche, LA3M., UMR 7298.
681 Docteur de l'Université d'Aix-Marseille.

B. LES FORGES DES POIRIERS (83) (90-230 apr. J.-C.)

1. Données brutes

a. Présentation des forges

Dans la zone 4 correspondant aux thermes du site de l'école des Poiriers, dans le centre ville de Fréjus (*cf. supra*), plusieurs petites fosses contenant des charbons et des battitures ont été repérées lors de la fouille préventive de l'école des Poiriers à Fréjus dans la zone 4. Deux de ces fosses ont été étudiées dans le cadre d'un contrat et ont bénéficié d'un test entomologique sur les charbons de bois (FIGURE 279).

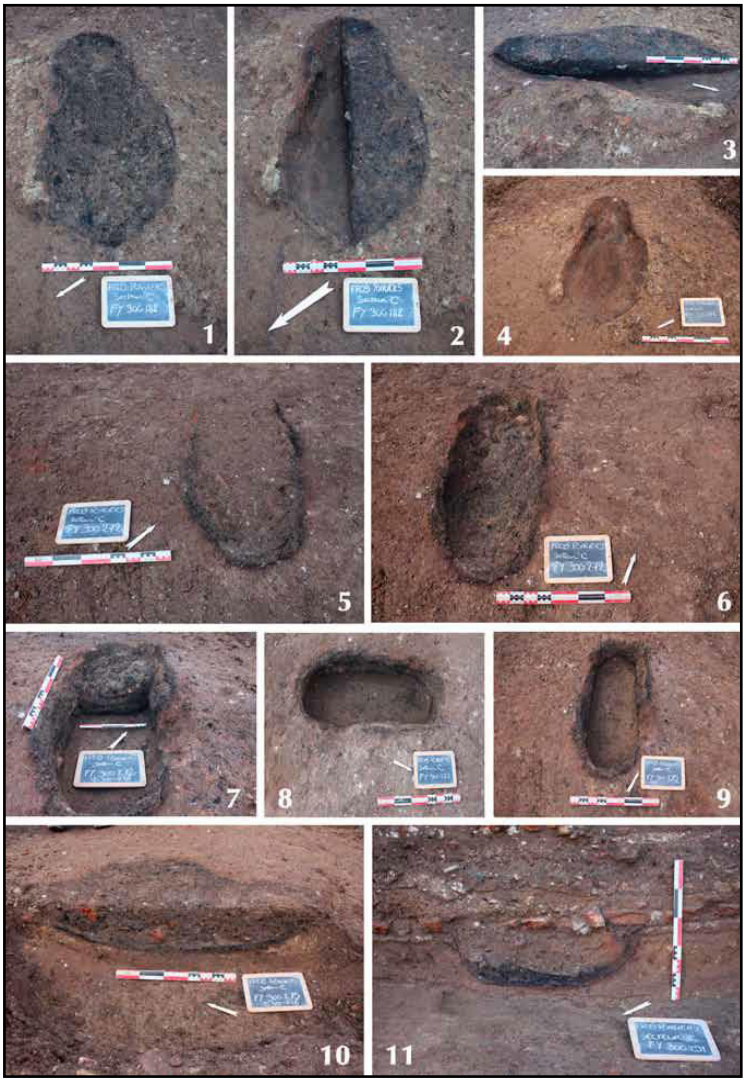


FIGURE 279 - Exemples de fosses/ forges observées sur le site des Poiriers, cl. SAPVF, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.

- L'US 300 273

Ce niveau a livré une batterie de bas-foyers qui composent la forge. Les formes générales varient de l'oblongue à l'ovale comprimé ou pincé, entre 0,70 et 0,80 m de long pour environ 0,40 m de large. L'ensemble est daté de la phase 3a, soit de la période située entre 150 et 180 apr. J.-C. Un de ces foyers, FY 3272 a été étudié. Son comblement (300 273) est composé de charbons et de battitures (FIGURE 280).

FIGURE 280 - Vue du bas-foyer 3272, cl. SAPVF.

- US 400 377

Très probablement en rapport avec la phase de construction de l'ensemble thermal (zone 4), entre 90 et 120 apr. J.-C., le niveau d'occupation est composé d'un grand nombre de fragments de *tegulae*, de trois tuyaux entiers, et de plusieurs éléments de mobiliers céramique dont un col d'amphore. Sur ce même niveau de travail, les ouvriers réalisent un foyer sous la forme d'une légère fosse (FY 4378) (FIGURE 281). Dans le comblement du foyer (US 400 377), la présence de battitures et de scories de métal a été attestée signifiant peut-être une fonction de réparation et forgeage des outils de travail. À noter également à l'intérieur du foyer, la présence de restes de faunes associés à des noyaux d'olives et à des pépins de raisin, témoignant de sa fonction combinée comme foyer culinaire[682].

FIGURE 281 - Vue du foyer 4378, cl. SAPVF.

b. Résultats bruts anthracologiques et entomologiques

- US 300 273

Ce foyer a nécessité l'observation de 180 charbons et comprend au total neuf taxons (TABLEAU 298 ; FIGURE282)[683].

Les essences utilisées comme combustibles sont en majorité le chêne F. C. (46,11%), puis le pin d'Alep/P. pignon (12,78%), le chêne vert/kermès (11,67%) et le genre *Quercus* sans plus de précision (6,11%). Quelques fragments d'arbousier (5%) et de bruyère (4,4%) sont également présents.

Le taux de l'ensemble des charbons indéterminables (angiosperme et gymnosperme) est assez élevé à 13,8%. De plus, de nombreux nœuds du bois ont interdit la diagnose anthracologique.

La vitrification est variable et de niveau plutôt moyen (niveau 2-3), la calcification est faible (niveau 1 à 2). Sur les chênes, de nombreux thylles sont repérés. Quatre petites brindilles de 2 mm de diamètre ont été repérées.

[682] EXCOFFON *ET ALI*. 2016, 281 ; informations M. TILLIER, carpologue.
[683] *Cf.* Tableau n°299 et FIGURE 283 - Annexe 6, page 219.

	Arbutus unedo	*Erica*	*Pinus halepensis*	*Quercus* F. C.	*Quercus ilex/coccifera*	*Quercus*	Angiospermes indéterminable	Gymnosperme indéterminable	Indéterminable	TOTAUX
300 273	9	8	23	83	21	11	20	2	3	**180**
%	**5**	**4,44**	**12,78**	**46,11**	**11,67**	**6,11**	**11,11**	**1,11**	**1,67**	**100**

TABLEAU 298 - Tableau des taxons observés du comblement 300 273.

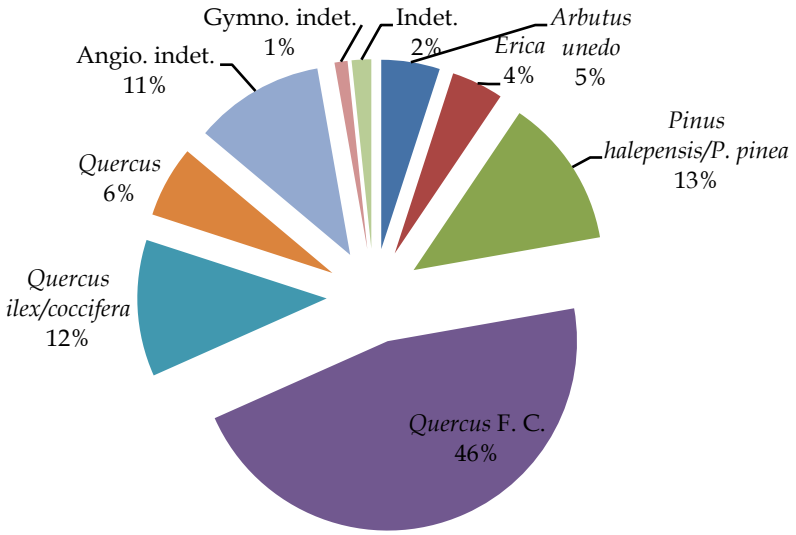


FIGURE 282 - Proportions des essences de l'US 300 273.

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

- US 400 377

153 charbons de bois qui représentent la totalité du prélèvement effectué lors de la fouille, ont été observés (TABLEAU 300 ; FIGURE 284)[684]. Il convient de noter en premier lieu, la très forte proportion de charbons vitrifiés et par conséquent indéterminables (angiospermes : 31,37%, gymnosperme : 6,5%, Autres : 7,84%). C'est un phénomène que l'on observe régulièrement sur des bois pyrolysés dans des structures artisanales[685]. À l'inverse, la calcification est plutôt faible. Il n'a pas été possible d'obtenir plus de charbon pour ce prélèvement.

Les résultats révèlent que les angiospermes indéterminables dominent le spectre à plus de 30% suivies par le pin d'Alep/P. pignon dominant (20,26%), puis l'olivier (13,74%), la bruyère (5,23%), le chêne vert/kermès (3,28%), et par d'autres petits ligneux : cistes (1,96%),

[684] *Cf.* Tableau n°301 et FIGURE 285 - Annexe 6, page 220.
[685] DURAND ET AL. 2010.

myrte (1,31%), Cistacée/Myrtacée (1,31%), Myrtacée (0,65%), genévrier (0,65%), érable à « gros rayons » (0,65%) et Monocotylédone (0,65%).

	Acer gros rayons	*Cistus*	*Cistaceae/Myrtaceae*	*Erica*	*Ericaceae*	*Juniperus*	Monocotylédone	*Myrtus*	*Myrtaceae*	*Olea europaea*	*Pinus halepensis/P. pinea*	*Pinus*	*Quercus ilex/coccifera*	Angiosperme indéterminable	Gymnosperme indéterminable	Indéterminable	TOTAUX
400 377	1	1	2	12	5	1	1	2	1	21	29	2	5	48	10	12	153
%	**0,65**	**0,65**	**1,31**	**7,84**	**3,28**	**0,65**	**0,65**	**1,31**	**0,65**	**13,74**	**18,96**	**1,31**	**3,29**	**31,37**	**6,5**	**7,84**	**100**

TABLEAU 300 - Tableau des taxons observés du comblement 400 377.

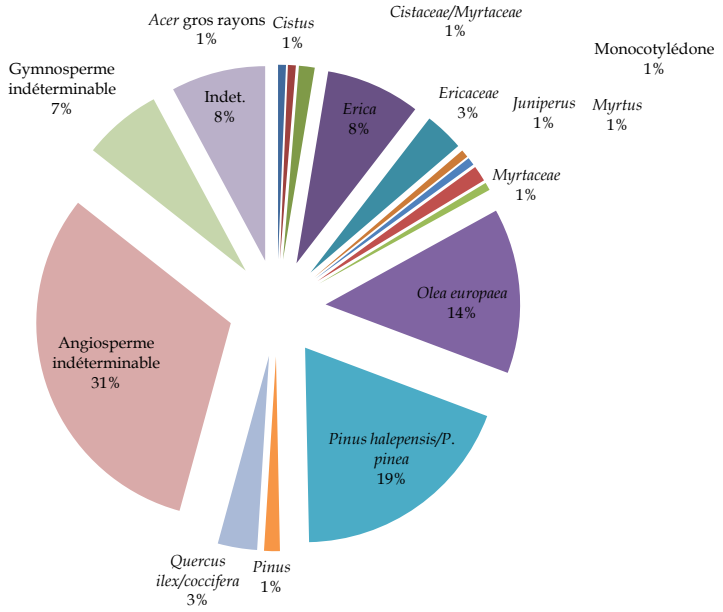


FIGURE 284 - Proportions des essences de l'US 400 377.

Aucune trace d'insecte xylophage, d'arthropode ou d'hyphe de champignon n'a été observée.

2. Hypothèses et interprétations

Le fait que la diagnose concerne une forge conduit à proposer une interprétation bien spécifique à ces résultats. En effet, le lien entre les bruyères, et en particulier la bruyère arborée, et la métallurgie du fer a été mis en évidence à plusieurs reprises par les historiens, les archéologues ou les anthropologues pour les périodes historiques[686]. La raison tient au pouvoir calorifique de ce genre, très supérieur à tous les autres ligneux feuillus ou

[686] BURRI 2012 ; VASCHALDE 2013.

résineux[687], et également à son inflammabilité qui est parmi les plus élevées[688]. Les bruyères sont présentes dans le spectre du foyer, mais à hauteur de moins de 5%. Or les angiospermes indéterminables, majoritaires, n'ont pas été discriminées en raison d'une forte vitrification. Ce phénomène concerne tout particulièrement les bruyères et la bruyère arborée : de nombreux anthracologues[689] observent de manière récurrente que les charbons de bois rapportés au genre *Erica* sont plus souvent vitrifiés que les autres, notamment en situation de combustible artisanal ou industriel. Cet état de fait conduit à poser l'hypothèse raisonnable que les charbons vitrifiés de bois de feuillus non identifiés, qui forment la part majoritaire du spectre anthracologique à hauteur d'un tiers du total, soient à rapporter au seul genre *Erica*. Ainsi près de 40% des charbons caractérisés seraient issus de bois de bruyères. Cette interprétation est logique, mais ne peut être fermement assurée. Dans cette perspective, il est également possible de s'interroger sur la présence des taxons *Pinus halepensis-pinea* et *Quercus ilex-coccifera :* les pins et chênes n'auraient-ils pas été utilisés pour aider à maintenir une certaine température qui aurait été atteinte d'abord par les bruyères ? Comme précédemment, une douzaine de brindilles ont pu être observées (Rosacées, pin, bruyère et indéterminables). Elles sont également de très petite taille, entre 1 et 3 mm de diamètre seulement, ce qui étaye l'hypothèse d'une utilisation de petits bois d'allumage, peut-être pour allumer le feu ou le recharger. Une seule écorce en place a été reconnue et indique un abattage à la fin de l'automne. Ce résultat est trop isolé pour pouvoir en tirer des conclusions assurées.

Les essences attestées dans les forges du site des Poiriers est à rapprocher des études faites pour les foyers des Poiriers et le site de Camelin.

Enfin, l'ensemble des bois ne présente pas de trace d'infestation (insecte ou champignon). Le bois utilisé dans les forges est a priori sain. Les écorces n'ont pas été conservées soit parce que les bois ont été écorcés, soit que le processus de pyrolyse les a fait disparaître. Cette situation interdit d'observer les éventuelles traces d'attaques d'insectes typiques de bois frais comme les scolytes, les cérambycides...

Le site des Poiriers, et sans doute plus largement *Forum Iulii*, est ancré dans un panorama typiquement méditerranéen comme l'attestent toutes les espèces mésoméditerranéennes observées. La pinède, dominante pour les phases anciennes, semble être petit à petit colonisée par le chêne vert/kermès lors des phases les plus récentes. Corrélativement, la variété des espèces de petits ligneux liées à l'ouverture du milieu (bruyère, arbousier, genévrier, ciste/myrtacée, monoctylédone…) diminue. Doit-on voir dans cette évolution la conséquence d'un agrandissement de l'agglomération ? Des marqueurs de zones plus arborées et plus humides, probablement situées vers *l'Argens* ont été mis en évidence avec la présence de l'orme, du frêne et du chêne à feuillage caducifolié. La diagnose anthracologique effectuée conduit à mieux comprendre les usages liés au bois approvisionnant certains types de foyers, notamment ceux des thermes et de foyers plus artisanaux (US 300 273 et 400 377, *cf. supra*). Le remodelage et la préparation du terrain vont également impliquer le défrichement du secteur. Le couvert végétal original avait, évidemment, déjà été largement

687 DOAT *ET AL.* 1981.
688 ELVIRA ET HERNANDO 1989, THÉRY PARISOT 2001, DIMITRAKOPOULOS Y PAPAIOANNO 2001.
689 DURAND *ET AL.* 2010 ; CHABAL, DELHON, FABRE, FIGUEIRAL, MARGUERIE, THÉRY-PARISOT, com. orale.

transformé lors de la première occupation humaine. Le contexte végétal défini à partir de ces échantillons s'apparente à un couvert de type garrigue classique (romarin, ciste, bruyère, genévrier, myrte), où regagne progressivement le pin d'Alep[690].

C. LE FOUR À CHAUX DE SAINT-LUPIEN À REZÉ (44)

1. Données brutes

a. Présentation du four

Sur le site portuaire de Saint-Lupien à Rezé, près de Nantes, une terrasse anthropique notée secteur 14 haut, domine en hauteur le caisson fait de pierre et de bois étudié précédemment. Le secteur 14 correspond à la partie haute de la terrasse portuaire principale[691], qui se distingue bien de la partie basse en ayant révélé des murs et des séquences stratigraphiques relativement bien conservés. Il occupe la quasi-intégralité de la largeur de la terrasse (CAI 9), entre l'axe de circulation VO 4680 à l'est et le secteur 16 à l'ouest, ainsi que le sommet de la seconde terrasse à l'est, et se développe sur une distance maximale de 18 m du nord vers le sud, intégrant la partie occidentale de la chapelle Saint-Lupien (FIGURE 286). Un four à chaux, encore en cours d'étude au moment de clore ce travail, a été mis au jour et prélevé par carroyage (FIGURE 287). Son US de comblement charbonneux est l'US 42456. Le fond du four, muni d'une banquette permettant de poser les pierres à cuire, est de forme rectangulaire d'environ 1 m sur 1,50 m.

FIGURE 286 - Vue aérienne du secteur 14 haut et localisation du four à chaux (cercle rouge), cl. KAP ARCHÉO, 2014.

690 TORITI *in* : EXCOFFON *ET AL.* 2015.
691 *Cf.* Chapitre III, page 147.

FIGURE 287 - Vue du four à chaux après les prélèvements anthracologiques.

b. Résultats anthracologiques et entomologiques

Un ensemble de 870 charbons provenant de neuf carrés de prélèvement (TABLEAU 302 ; FIGURE 288) a été analysé. Malgré tous les charbons retrouvés analysés, la courbe d'effort-rendement n'est pas complètement stable[692].

Le chêne F. C. est le taxon présent en plus grande proportion, 79,43% et distribué dans tous les carrés. Viennent ensuite les Rosacées/Pomoïdes à un taux de 10,46% situées dans les carrés A, C et H. Douze fragments, soit 1,38% de frêne (*Fraxinus*) ont été attestés dans les carré B, G, H et I. Il en est de même pour le hêtre (*Fagus sylvatica*), présent à un taux de 0,92% (huit fragments). Il convient de noter la présence d'une légumineuse dans le carré F.

[692] *Cf.* Tableau n°303 à 311 et FIGURE 289 - Annexe 6, page 228-229.

Les charbons indéterminables, essentiellement des écorces, forment un groupe important présent à plus de 6% de l'ensemble. Enfin, quelques angiospermes demeurent indéterminables en raison d'une vitrification trop élevée.

	Fabaceae	*Fagus sylvatica*	*Fraxinus*	*Quercus* F. C.	*Rosaceae/Pomoidae*	Angio. Indét.	Indéterminable	TOTAUX
Carré A	0	0	3	116	1	0	30	**150**
Carré B	0	1	7	130	0	0	22	**160**
Carré C	0	0	0	93	37	0	0	**130**
Carré D	0	0	2	147	0	0	1	**150**
Carré E	0	0	0	12	0	9	0	**21**
Carré F	1	0	0	11	0	0	0	**12**
Carré G	0	1	0	1	0	1	1	**5**
Carré H	0	1	0	124	53	0	2	**180**
Carré I	0	5	0	57	0	0	0	**62**
TOTAUX	**1**	**8**	**12**	**691**	**91**	**10**	**56**	**870**
%	**0,11**	**0,92**	**1,38**	**79,43**	**10,46**	**1,15**	**6,44**	**100**

TABLEAU 302 - Proportions des essences de l'US 42456, selon les carrés de prélèvement.

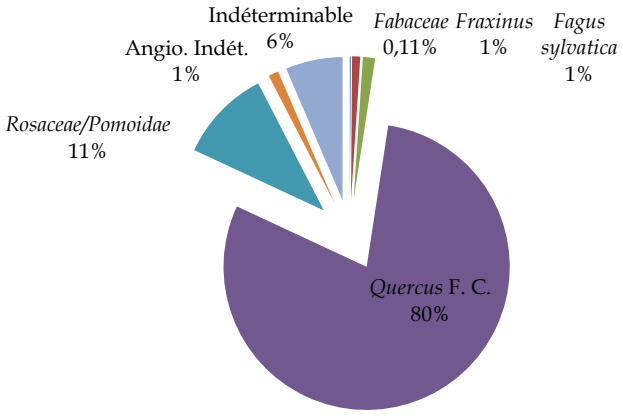
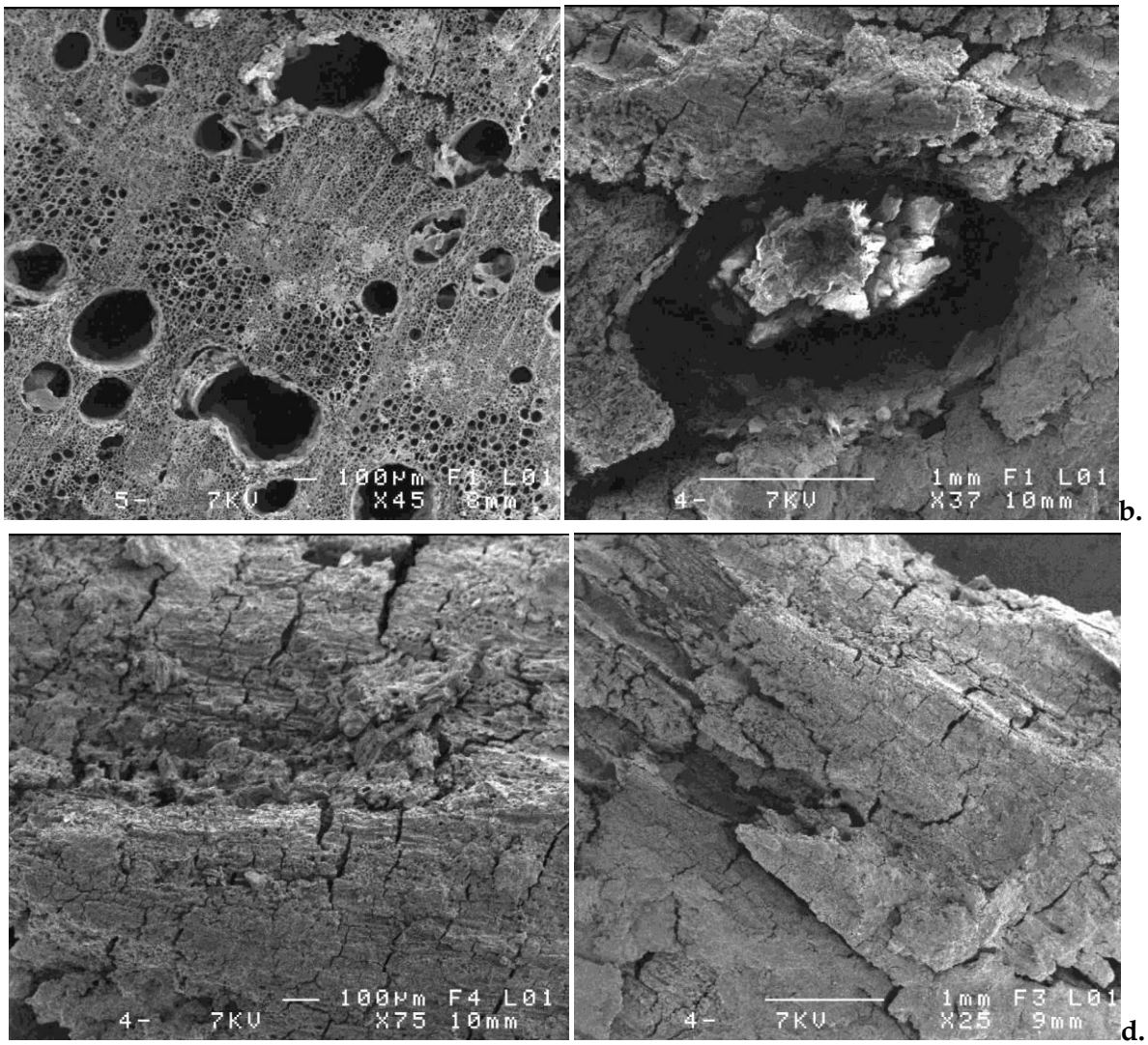


FIGURE 288 - Proportions des essences de l'US 42456.

Parmi les 870 charbons étudiés, une vingtaine de fragments présentent des galeries d'insectes xylophages, soit 2,30% de l'ensemble. Sept fragments de chêne (Carré B, C et H) comprennent un total de 10 galeries. Ces dernières ciblent le bois initial comme le ferait typiquement le lycte (*cf. lyctus*) (FIGURE 290 a). Une galerie indéterminée a été observée sur une écorce du carré D, la traversant perpendiculairement par rapport au fil du bois. Enfin, 17 galeries, irrégulières à rondes d'environ 1 mm de diamètre, ont été repérées sur 12 fragments de Rosacée/Pomoïdée du carré H seulement. La pourriture cubique est généralement présente sur tous les fragments. Elles restent indéterminées en raison de l'absence de vermoulure suffisamment bien conservées (FIGURE 290 b).

Dans le même cadre, cinq fragments de chêne ont été infestés par de la pourriture de type cubique (US 42456 B), soit 0,57% (FIGURE 290 c et d).



a. **b.** **c.** **d.**

FIGURE 290 - a. Galeries ciblant le BI d'un chêne. **b.** Galerie indéterminée et vermoulure indéterminable sur une Rosacée/Pomoïdée. **c et d**. Vue des déformations de type pourriture cubique.

2. Hypothèses et interprétations

Plusieurs pistes de réflexion s'ouvrent à l'issue de ces premiers résultats. Il convient à l'avenir, de compléter ces premières observations en confrontant les données archéologiques en cours de traitement au moment de clore ce travail, notamment la création du relevé en plan du four avec la projection des carrés de prélèvement. Cela permettra de localiser avec plus de précision les galeries observées. Les galeries de lycte, sur les échantillons en chêne, soulèvent l'idée d'une utilisation d'un bois sec en tant que combustible, contrairement à ce qui sera constaté pour le site de Châteaubleau (*cf. infra*). Cet insecte attaque généralement le bois ouvragé, mais peut également se développer dans des bois stockés dans un environnement abrité. La présence de pourriture cubique atteste de l'humidité du bois. Toutefois, il peut s'agir d'une trace ancienne comme d'une trace apparue peu avant la mise

au feu. Une des premières hypothèses pour ce four est l'emploi, soit de bois stocké et sec (un stockage exclusif pour l'artisanat ?), soit de réemploi d'ancien bois d'œuvre abîmé qui auraient ainsi été recyclé. Cette dernière idée peut se rapprocher de ce qui a été observé pour certains pieux, à savoir, la présence de lyctes également, mais aussi de vrillettes soulignant un réemploi de bois pour une autre utilisation sur ce même site archéologique.

Les autres galeries, toutes sur les échantillons de Rosacées/Pomoïdes, restent indéterminées, il n'y a malheureusement, pour l'heure, pas assez d'indice pour proposer des hypothèses d'identification valides. Cette essence ligneuse rarement rencontrée au sein du corpus peut éventuellement attirer des espèces de xylophages qui n'ont pas encore été intégrées dans la clé d'identification. La pourriture cubique est également visible, en particulier sur les parties externes des charbons de bois et semble moins toucher cette essence que le chêne. Afin d'affiner les interprétations, il faudra recontrôler ces données par le biais de l'archéologie.

D. UN FOUR À CHAUX AU SEIN DES GRADINS DU THÉÂTRE DE CHÂTEAUBLEAU (320-420 APR. J.-C.) (SEINE-ET-MARNE, 77)

1. Données brutes

a. Présentation du four

Au lieu-dit *le Haut Chemin*, à l'est de la commune actuelle de Châteaubleau, un théâtre romain a été identifié au milieu du XIXe s. Dans la continuité des investigations sur le théâtre, F. PILON et son équipe ont fouillé en 2011 le secteur nord du théâtre. Le four à chaux F32, de type à gueule haute, a été mis au jour dans le secteur F26 de la *cavea* du théâtre[693] (FIGURE 291). Composé de briques (*tegulae* notamment) et de pierres calcaire, le four se présente avec une chambre de chauffe à peu près cylindrique d'un diamètre extérieur compris entre 3,40 m et 3,70 m, d'un diamètre intérieur de 2,45 m, et d'une profondeur de 2,52 m. Il s'implante et intègre les murs antérieurs d'une cage d'escalier qui permettaient d'accéder aux gradins du théâtre. Le fond du four est composé de plusieurs *tegulae* disposées à plat, facilitant le nettoyage. Les restes de la dernière chauffe ont été conservés et ont été entièrement prélevés. Le devant du four est occupé par une aire de travail, creusée dans une allée, et dont les élévations ont été aménagées avec les blocs de pierres issus de l'escalier démonté[694]. L'analyse C^{14} des charbons de bois[695] issus du fond du four confirme que la structure est gallo-romaine et datable du Bas-Empire avec une fourchette variant entre 320 et 420 apr. J.-C.

Les prélèvements concernent : les restes de chaux de la dernière cuisson (US 4070), épais de 0,10 m à 0,15 m ; une couche, US 4071, composée des cendres de la dernière cuisson dont l'épaisseur varie entre 0,06 m et 0,12 m ; ainsi que le cendrier 4074, ou aire de rejet associée à l'escalier (FIGURE 292).

693 *Cf.* Chapitre III, page 182.
694 PILON (dir) 2015.
695 Par le centre de datation de l'Université de Lyon I.

L'objectif de l'étude anthracologique était tout d'abord, de sélectionner les charbons de bois les plus pertinents pour une datation C^{14}, et d'identifier le type de combustible utilisé (essence, calibre, état).

FIGURE 291 - Vue du four F32 en cours de fouille, tirée de PILON (dir) 2015, vol. 2, p. C156.

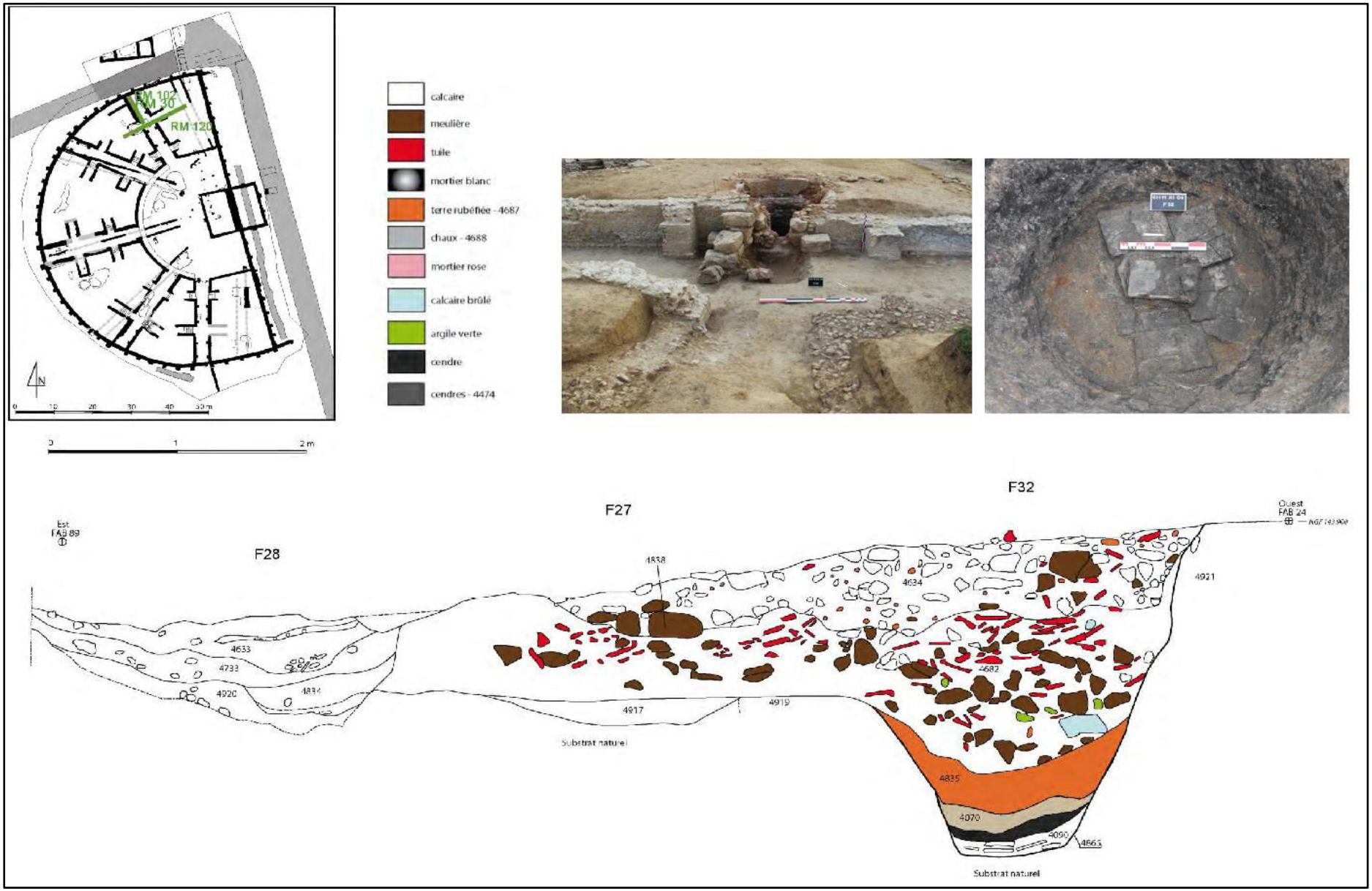


FIGURE 292 - Relevé en coupe du four à chaux F32, Localisation du four, et vues générale de face et du fond du cendrier F52 et du lit de chaux 4083 (plans La Riobé ; D.A.O. PILON), tiré de PILON (dir) 2015.

b. Résultats anthracologiques et entomologiques

- Résultats anthracologiques

L'analyse anthracologique, effectuée par V. PY, a révélé un ensemble de huit taxons ligneux dont le plus présent est le peuplier à près de 80% des occurrences. Le bouleau arrive ensuite en seconde position avec 8,9%, ainsi que, dans l'ordre de proportion : du chêne F. C. (6,2%), de l'érable (3,2%), du charme (2,2%), de l'aulne, du prunier *sp*. et du frêne, tous à environ 0,3% chacun. Le calibre des bois n'a pas pu être évalué.

Dans son travail, V. PY interprète la surreprésentation de *Populus* dans le four comme n'étant pas liée à un prélèvement localisé ou un mauvais échantillonnage. Selon elle, il s'agit probablement du reflet d'une action courte et non répétée (une seule combustion). Le peuplier a manifestement été sélectionné de manière préférentielle alors qu'il n'est pas reconnu comme étant un « bon combustible » ou alors, ils ont pris ce qu'ils avaient sous la main[696]. En revanche, les charbons provenant du cendrier US 4074 reflètent une action plus longue et répétée (plusieurs combustions) de par une variété plus importante des taxons. Les charbons de bois issus de cette couche, offrent potentiellement un effet de synthèse de la végétation ligneuse utilisée pour alimenter ce four.

V. PY propose également une restitution de l'aire d'approvisionnement en combustible du four. Cette aire est localisée à proximité d'un cours d'eau et/ou d'une zone humide et/ou dans une station de fond de vallon. En effet, la dominance du peuplier suggère un approvisionnement massif dans une forêt ripicole et/ou dans une ripisilve. Mais, il ne faut pas exclure un approvisionnement ponctuel dans une formation de type chênaie ou ripisylve. Le choix du combustible paraît être en accord avec les disponibilités environnementales potentielles aux abords directs du site[697].

- Résultats entomologiques

Lors de son analyse, V. PY a repéré diverses traces d'insectes xylophages ou de parasites. Après documentation, elle a notamment pensé à une probable infestation du bois, très humide, par de la petite vrillette (*A. punctatum*) induisant ainsi une interprétation d'utilisation de bois infestés en deux phases (colonisation et décomposition). Il s'agirait de bois qui auraient été stockés, ou bien de bois d'œuvre réemployés dans le four.

Lors du début des investigations, il a semblé intéressant de retravailler sur ces charbons de bois afin de tester la méthodologie de reconnaissance des galeries et des vermoulures et ainsi de confirmer ou non les premières interprétations avancées. Il est à noter que cette analyse anthraco-entomologique a été facilité grâce à la méthode de conditionnement des charbons de bois, individualisés dans un sachet zip numéroté[698] lors de l'analyse de V. PY.

Un total de 948 charbons de bois ont été observés et toutes les traces telles que les galeries, les hyphes et autres déformations anatomiques du bois ont été systématiquement enregistrées (TABLEAU 312)[699]. Pour l'ensemble des niveaux de fonctionnement du four, c'est 58,33% des charbons qui présentent des traces d'infestation d'insectes xylophages. Cette

[696] PY 2015 *in* : PILON (dir.) 2015, 393.
[697] PY 2015 *in* : PILON (dir.) 2015, 385-398.
[698] Cela a évité d'extrapoler le nombre de galeries notamment en faisant des « recollages » des fragments de charbons.
[699] *Cf.* Tableaux n°313 à 331, Annexe 6, page 230.

infestation concerne exclusivement les charbons de peuplier, hormis pour le prélèvement 4074-9 où le bouleau est aussi colonisé. Pour ce même prélèvement, le chêne et l'érable semblent aussi être infestés par les hyphes et la pourriture cubique. Au total, ces colonisations représentent un ensemble de 1369 galeries[700]. Hormis deux prélèvements (4074-10 et 11), tous les charbons ont des déformations (fissures nettes et droites) et certaines cellules présentent des effondrements correspondant à des infestations d'un champignon lignivore de type pourriture cubique, pour un total de 270 fragments, soit 28,49%. En parallèle, 576 charbons présentent des hyphes de champignons, soit 60,76%. Certains sont en surface du fragment et d'autres en revanche se faufilent dans les galeries. Lors de ses observations, V. PY a noté la présence d'œufs de très petite taille (50 µm) et de couleur blanche. Ils sont à associer à des acariens (8 pattes)[701] privilégiant l'humidité des prélèvements et correspondant donc à une infestation actuelle. Lors de l'étude anthraco-entomologique, un seul acarien vivant a été aperçu, mais n'a pas pu être attrapé pour identification.

US	Nb de charbons analysés	Nb de charbons infestés (gal)	Taxon présent	% infestation	Galerie	P. cubique	Hyphe
4070-1	52	50	*Populus*	96,15	290	42	46
4071-2	125	75	*Populus*	60,00	165	38	53
4071-3	100	71	*Populus*	71,00	228	27	71
4071-4	100	80	*Populus*	80,00	132	32	79
4071-5	50	27	*Populus*	54,00	54	11	39
4071-6	100	40	*Populus*	40,00	65	7	21
4071-7	50	26	*Populus* (96%), *Quercus* F.C. (2%)	52,00	49	17	32
4074-8	23	18	*Populus*	78,26	29	11	11
4074-9	25	8	*Populus*	32,00	17	3	17
4074-10	14	5	*Populus* (92,9%), *Quercus* F.C. (7,1%)	35,71	6	0	4
4074-11	1	1	*Populus*	100,00	8	0	1
4074-12	8	1	*Populus* (12,5%), *Quercus* F.C. (62,5%) *Betula* (12,5%), *Acer* (12,5%)	12,50	1	3	4
4074-13	40	21	*Populus*	52,50	52	7	21
4074-14	25	22	*Populus* (92%), *Carpinus* (8%)	88,00	59	18	24
4074-15	35	22	*Populus* (85,7%), *Carpinus* (11,4%), *Alnus* (2,9%)	62,86	57	7	24
4074-16	50	32	*Populus* (94%), *Carpinus* (4%), *Prunus* (2%)	64,00	71	17	41
4074-17	75	23	*Populus* (90,7%), *Quercus* F.C. (5,3%) *Betula* (1,3%), *Acer* (2,7%)	30,67	33	11	39
4074-18	20	8	*Populus* (95%), *Betula* (5%)	40,00	17	3	15
4074-19	55	23	*Populus* (5,5%), *Quercus* F.C. (23,6%) *Betula* (54,5%), *Acer* (16,4%)	41,82	36	16	34
TOTAUX	**948**	**553**	-	**58,33**	**1369**	**270**	**576**
%	**100**	**58,33**	-	**-**	**-**	**28,49**	**60,76**

TABLEAU 312 - Tableau résumant les observations des insectes xylophages et autres traces sur les charbons de bois.

Pour l'US 4070, l'infestation par les galeries d'insectes xylophages s'élève à plus de 96% des fragments. Les prélèvements de l'US 4071 cumulent un taux d'infestation proche des 64%, tandis que les charbons provenant de l'US 4074 sont infestés à 55,29%.

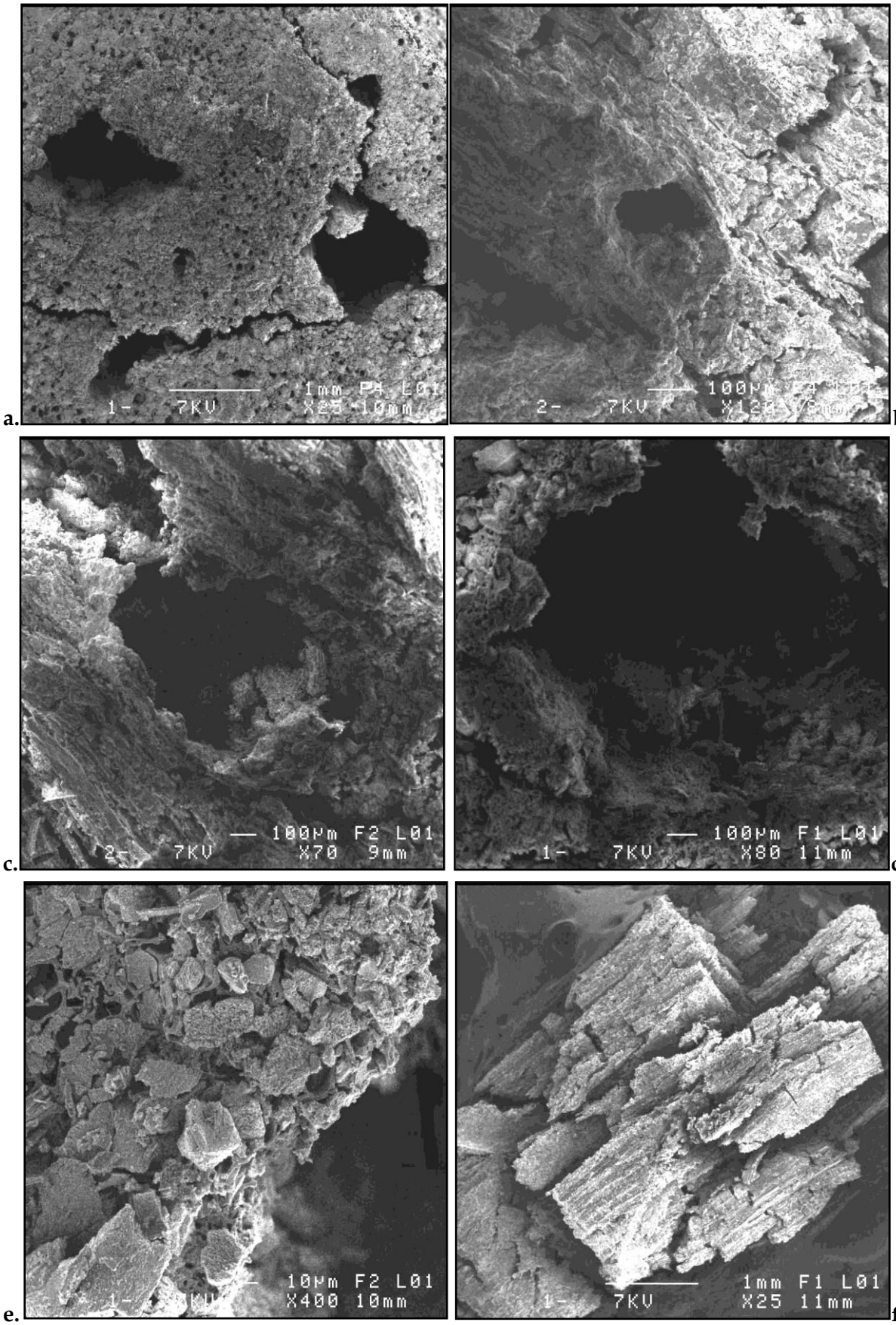
[700] Il y a souvent plusieurs galeries sur un même fragment, rendant difficile la lecture de l'anatomie du bois.
[701] Différent des collemboles qui ont déjà pu être observé sur d'autres sites.

Les galeries rondes à irrégulières répertoriées (PLANCHE 36 a à d) faisant environ 1 mm de diamètre, sont parallèles à obliques au fil du bois. Elles se recoupent « en réseaux » illustrant une succession de générations d'insectes. La vermoulure préservée, parfois fondue, est hétérogène et granuleuse : petits grains et copeaux de bois fins (PLANCHE 36 e). Ce type de traces est typique de la famille des *Cossoninae* (charançons du bois). Dans le cas de Châteaubleau, ces galeries sont très régulièrement associées à un bois abîmé, mou, se délitant très facilement et présentant des déformations de type pourriture cubique (PLANCHE 36 f) illustrant ainsi une décomposition du bois avancée. Seulement 0,22%, soit 3 galeries sont indéterminées.

Quelques rares galeries, aux dimensions plus grandes mais sans vermoulure, sont présentes, notamment sur certains fragments de 4071-2, mais restent indéterminées. De même, la présence de micro-galeries, ayant un diamètre inférieur à 0,5 mm de diamètre, sont attestées et sont associées aux galeries de *Cossoninae*. Il semble hasardeux de proposer une identification précise puisque plusieurs interprétations peuvent être avancées : soit des indicateurs de présence d'agents de décomposition du bois, dits saproxylophages[702], soit un autre insecte xylophage forestier non connu actuellement dans la clé de détermination, ou encore les premiers stades larvaires de l'espèce de *Cossoninae* bien identifié par ailleurs[703].

[702] DAJOZ 2007 ; Ils sont notés dans les tableaux de l'Annexe 6 lorsqu'ils sont suspectés, mais un point d'interrogation est à garder en tête sur leur identification véritable.

[703] Mais l'absence de vermoulure pose question.



a. b. c. d. e. f.

PLANCHE 36 - a à d. Galeries de type *Cossoninae* sur du peuplier. **e.** Vermoulure granuleuse de type *Cossoninae*. **f.** Charbon de peuplier touché par de la pourriture cubique conservée carbonisée.

2. Hypothèses et interprétations

Le peuplier est un arbre à croissance rapide pouvant atteindre une grande taille, qui sèche facilement et se travaille bien, mais qui est aussi très sensible aux attaques d'insectes xylophages lorsque celui-ci est sur pied. De plus, cette essence se dégrade très rapidement une fois morte[704].

Les bois de combustion du four à chaux de Châteaubleau appartiennent à deux catégories : les peupliers d'une part et les autres essences non infestées (chêne, aulne, bouleau, charme, érable, frêne, *Prunus*) d'autre part. Les charbons de bois provenant du four sont majoritairement, à près de 60%, dans un mauvais état, non pas de conservation car ce n'est pas lié au prélèvement ni au stockage des charbons, mais bien à l'état sanitaire du bois au moment de sa carbonisation. Les fragments sont parfois difficiles à lire en raison de leur forte dégradation.

Les peupliers, dont la grande majorité, sont très infestés par des charançons du bois et qui semblent correspondre à du bois pourri, mort en forêt ou éventuellement stocké dans un milieu très humide, ce qui serait lié à la présence de pourriture cubique. De par le nombre important de galeries, notamment des galeries qui se recoupent, il semble y avoir eu plusieurs successions de générations de charançons sur les peupliers. Le cycle évolutif général d'un charançon du bois est d'environ 8 mois, mais le nombre de génération est trop difficile à établir avec précision car il s'agit de bois dans un état de décomposition avancée. De plus, si les conditions étaient favorables pour les insectes, ceux-ci ont très bien pu accélérer et multiplier les cycles.

Au vue de l'analyse, l'attaque intervient après la mort et la chute de l'arbre au sol et évidement, avant son utilisation et la carbonisation. Il n'y a pas de traces particulières de stockage ou de séchage, mais ce n'est toutefois pas à exclure totalement. Ce type de bois utilisé dans un contexte artisanal ne faisait pas partie des premières hypothèses avancées, mais l'apport calorifique du bois mort est intéressant d'un point de vue artisanal et a très bien pu être choisi expressément dans cette perspective[705]. En outre, le peuplier, qui est un bois léger, est considéré comme un combustible médiocre car il s'enflamme rapidement. Pourtant, il brûle plus longtemps qu'une bûche en chêne refendue. En comparaison, un kilogramme de chêne donne sensiblement le même nombre de calories qu'un kilogramme de peuplier[706], mais les bûches en cause ne feront pas le même volume (qui doit être plus important pour le peuplier). À Châteaubleau, pour faire fonctionner le four à chaux, les artisans ont utilisé prioritairement des bois légers et flambants (*Populus*, *Betula*), adaptés pour faire des flammes hautes et ont ainsi confectionné un four à gueule haute, peut-être en réponse à cette caractéristique. D'après la courbure des cernes de croissance (souvent plats), il semblerait que les charbons proviennent surtout de grosses branches et de troncs[707].

En parallèle, la présence d'hyphes (blancs à orangés) de champignons est plus problématique. Il est important de souligner que beaucoup de ces hyphes sont visibles sur les parties externes des fragments et semblent donc être récentes au même titre que les acariens. Or, la question qui reste posée, et qui pourrait être intéressante à approfondir,

[704] NAGELEISEN *ET AL.* 2010.
[705] VASCHALDE 2013, PY 2015.
[706] CHABAL *ET AL.* 1999.
[707] VASCHALDE 2013, PY 2015.

concerne les hyphes se situant à l'intérieur de l'anatomie du bois : est-ce qu'il s'agit de traces d'autres champignons lignivores ayant infesté le bois avant la carbonisation et ayant participé à la dégradation des bois de peuplier ?[708]

La mise en place d'un four au sein d'un ensemble architectural plus ancien, le théâtre, se traduit par l'édification de maçonneries à une époque tardive pour les environs du site. Mais l'utilité peut éventuellement se transcrire à travers d'autres activités telles que la tannerie ou l'agriculture pour l'amendement des sols.

[708] MOSKA-DEL-HOYO 2010.

SYNTHÈSE CONCLUSIVE DU CHAPITRE

Les résultats présentés dans ce chapitre sont des tests ciblés, ou encore des expertises spécifiques sur un objet ou une structure archéologique ne concernant pas, aux premiers abords, les bois ouvragés. Ce chapitre vise à appliquer la méthodologie développée dans le chapitre II, afin de voir s'il était possible d'identifier des insectes xylophages à partir de la clé de détermination qui a été élaborée (Volume III)[709] sur du bois autre que du bois d'œuvre. Les analyses de cette sélection de sites et de structures archéologiques (artisanat, objets...) ont fourni des résultats intéressants, témoignant d'une part de l'efficacité de la méthodologie, et d'autre part d'une ouverture des perspectives d'interprétation selon le contexte archéologique. La clé de détermination des insectes xylophages se doit de continuer à être enrichie afin de mieux identifier et reconnaître certaines familles et genres. Il convient de rappeler qu'à plusieurs reprises à Cébazat, Chassenon et Châteaubleau, mais aussi à Rezé et Camelin, des galeries repérées sur les bois ouvragés ou non sont restées indéterminées.

- Des objets en bois peu infestés

La majorité des objets analysés, que cela soit au sein du laboratoire d'Arc'Antique, du musée Dobrée ou du Carré Plantagenêt, ne présentent pas de galeries et sont donc sains. Pour quelques objets du site de la Porte Allain (Trégueux) et d'Alésia, la présence de petites vrillettes a été repérée. Il faut noter que pour ces objets de collection, il était difficile, voire impossible, de les sortir de leur lieu de réserve ou de restauration afin de pouvoir les étudier en détail, notamment pour prendre des mesures et des photographies au microscope. De plus, les contextes de découvertes sont plus ou moins précis par rapport à une structure en bois scellée par un incendie par exemple. En effet, d'une part les bois gorgés d'eau provenant de puits ne sont pas forcément reconstituables comme ce qui a été possible pour les seaux et les tonneaux de la Porte-Allain et d'autre part, l'ancienneté de ces fouilles et donc l'accès aux données de terrain n'a pas toujours été possible.

L'étude entomologique sur les objets a fourni des informations sur l'état général de la pièce à travers deux types d'infestations différentes : soit au moment de son utilisation (Les Cléons, La Porte-Allain), ou soit une infestation récente dans le cadre d'une préservation des vestiges en post-fouille (Alésia). C'est ce qui fait des bois du site d'Alésia un exemple à part et intéressant. Ceux-ci, datés du IIe et Ier s. av. J.-C., découverts dans les années 1930, ont été infestés vraisemblablement durant les années 1950, manifestant ainsi clairement l'attractivité active du bois archéologique. Cette situation particulière interroge ainsi sur la préservation et la protection du matériel archéologique après la fouille et donc sur la conservation patrimoniale. Les deux types d'infestations, archéologiques[710] et récentes, peuvent très certainement avoir lieu sur un même objet ou sur un ensemble de bois. Mais cet état de fait n'a pas été mis en évidence parmi les bois étudiés ici.

Ce type d'études xylo-entomologique sur des objets en bois, présente plusieurs difficultés pour l'analyse des insectes :

- la connaissance du moment de l'infestation pour les bois connus ou déjà présents dans les réserves depuis plusieurs années,

[709] En priorité établie à partir d'insectes rencontrés fréquemment sur du bois d'œuvre.
[710] Signifiant pour rappel : qui a eu lieu pendant l'utilisation.

- le contexte de fouille : un objet mis au jour dans un puits rend la connaissance de son contexte d'origine (d'utilisation) impossible car ce contexte est généralement le résultat d'un abandon ou d'une perte. Où était-il ? Dans quel cadre était-il utilisé ? Quand et pourquoi a-t-il été infesté ?

Ce qui est sûr au vu des analyses, c'est que l'infestation a eu lieu avant que l'objet ne soit dans le puits, en raison du développement spécifique d'*A. punctatum,* espèce qui ne peut pas se développer dans un milieu immergé (par eau ou par la terre). C'est d'ailleurs ce que l'on perçoit en parallèle sur le site de Rezé à propos des infestations d'insectes terrestres sur des bois normalement immergés lors de leur utilisation : ces constats renvoient alors à s'interroger sur le type d'infestation et les hypothèses de réemploi.

Enfin, constater l'infestation sur ces objets soulève peut-être une nouvelle hypothèse quant à leur abandon : ont-ils été jetés à cause des attaques de xylophages ? L'attaque rendant l'objet moins fonctionnel ou plus suspect pour le bon déroulement de sa fonction, les populations auraient pu remarquer cet état et ainsi abandonner l'objet.

À l'inverse, il convient de souligner les avantages d'étudier ce type de mobilier :

- les traces d'infestation sont préservées par la restauration (imprégnation au PEG).
- lors d'un bon stockage du bois après la fouille, il est possible de garder une bonne conservation des traces d'insectes et des outils qui ont façonné la pièce de bois.

- Les perspectives pour l'étude du bûcher funéraire de Cébazat

On aurait pu croire que le choix du bois pour fabriquer un bûcher aurait été plus "mystique" ou rituel. Or, au contraire, il s'agit de bois mort, probablement forestier.

- Les perspectives pour les fours d'artisanat et les foyers

Il s'agit, en l'état actuel des études effectuées, de la catégorie de bois qui possède le moins de traces d'insectes xylophages. Cette absence résulte sans doute de plusieurs facteurs : un choix spécifique d'une essence telle que la bruyère pour les sites de Fréjus par exemple ou encore le peuplier pour Châteaubleau ; à Fréjus, il y a en grande partie des bois de petits calibres qui ont été utilisés (brindilles, branchettes) moins sujets aux ravageurs xylophages. Le bois peut être vert, ce qui limite considérablement les infestations et les espèces potentiellement intéressées, or cet état est indéterminable pour l'heure en anthracologie. L'essence en elle-même peut également être un frein à la colonisation du bois par les champignons lignivores et les insectes, et c'est le cas de la bruyère qui est un bois dur et noueux.

En revanche, le cas du foyer des thermes des Poiriers ouvre des perspectives d'interprétation. Le sapin utilisé et infesté soulève la question du réemploi d'anciens bois d'œuvre.

Enfin, le cas du four à chaux de Châteaubleau, outre le fait de réaliser une "contre-expertise" sur l'analyse xylo-entomologique, permet d'attester une pratique de choix et d'utilisation du bois de combustion encore peu mis en évidence : le bois mort, voire même en décomposition avancée.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail a été l'occasion de réfléchir sur le bois d'œuvre à travers différents exemples archéologiques provenant de la Gaule romaine. Grâce aux investigations archéologiques récentes, l'avancée des techniques de prélèvement et de recherche en laboratoire, notamment au sein des fouilles préventives, le bois de construction à l'époque romaine retrouve une place de choix aux côtés de la pierre aux yeux des archéologues. La civilisation romaine, contrairement aux idées reçues, n'est pas simplement qu'un monde minéral, mais intègre une grande quantité de bois pour chacune de ces constructions. Plusieurs aspects de la chaîne opératoire technique utilisés dans la confection et l'emploi de bois d'œuvre ont été éclairés : son choix, sa provenance, son utilisation dans l'architecture et son état sanitaire. Ce dernier point révèle un (ou plusieurs) état(s) d'infestation de l'arbre ou du bois par des ravageurs xylophages au moment de sa vie, de sa coupe, d'une période de stockage, de sa mise en place dans l'architecture ou après son abandon par les populations. Ainsi, la méthodologie et les outils de détermination des traces d'insectes ont été testés, établis et développés (Chapitre II). Le but principal est de mieux reconnaître et documenter des indices signalant les différents usages du bois, les choix et les gestes des populations et des artisans de l'époque gallo-romaine. Une première constatation s'impose d'elle-même : ces indices sont aussi divers et nombreux qu'il existe de contextes archéologiques.

CHOIX ET GESTES DES CONSTRUCTEURS ET DES ARTISANS

- Le choix et la provenance du bois de construction

L'étude des approvisionnements en bois et de leur(s) circuit(s) de diffusion n'a pu être faite que sur les sites de Rezé (44), de Camelin et des Poiriers (83), ainsi que sur celui du col d'Adon (06). Les autres sites étant soit des tests méthodologiques, soit des contextes archéologiques interdisaient de renseigner cette problématique ou bien ne présentaient pas suffisamment de maitrise des prélèvements.

Les constructeurs paraissent s'approvisionner en bois au plus près et au plus pratique de leur construction. Ils choisissent le bois en fonction de leurs propriétés mécaniques et de la fonction souhaitée dans l'architecture. Les sapins et les résineux (pin sylvestre, pin d'Alep) forment des troncs droits, les chênes et les hêtres sont également des bois de longue portée, adaptés à la construction. Les bois buissonnants ou noueux (buis, bruyères, genévriers) ne sont pas utilisés dans l'architecture. Ces choix sont donc bien réfléchis en fonction de l'objectif des constructeurs.

Dans le cas du site de Rezé, c'est grâce à la pluridisciplinarité (dendrochronologie[711], tracéologie[712] et entomo-xylologie), dont les interprétations communes sont toujours en cours, qu'il a été possible d'identifier plusieurs indices. Pour la phase la plus ancienne, celle des pieux et piquets, l'importante variété des essences (aulne, chêne, frêne, hêtre, orme...) laisse penser qu'il y a eu plusieurs aménagements successifs composés de bois provenant de divers milieux ligneux comme d'une chênaie-hêtraie et d'un secteur plus humide de type ripisylve, probablement proche du site. De plus, même si elles sont assez anecdotiques, les attestations de la famille des scolytes suscitent des interrogations sur l'état sanitaire de la forêt d'approvisionnement, en particulier sur les échantillons en chêne et en orme. Pour la phase monumentale, les ressources engagées par les constructeurs devaient être très importantes. En effet, la construction de l'ensemble des quais a occasionné, à travers plusieurs abattages successifs étalés sur une trentaine d'années[713], la coupe, le transport et le façonnage d'une très grande quantité de bois en chêne âgés, centenaires pour la plupart et de très bonne qualité[714](sablières basses[715], sablières hautes disparues, poteaux avec tenon sur-mesure).

Dans le cas de Fréjus (Camelin et le foyer des Poiriers), la présence de bois exogènes tels que le sapin, le hêtre et le pin de type sylvestre au sein de ce site méditerranéen implanté en bord de mer révèle un tout autre type d'approvisionnement et un mode de consommation différent du bois d'œuvre. Ces essences montagnardes ont très certainement fait l'objet d'un approvisionnement depuis l'arrière-pays de Fréjus, et, surtout, plus loin encore dans les Alpes. Par conséquent, l'anthraco-analyse documente ici un transport sur une longue distance de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres : l'hypothèse d'un transport par voie d'eau peut raisonnablement être posée. Toutefois, des essences locales telles que le pin d'Alep pour la construction, ainsi que de la bruyère et le ciste pour le fonctionnement de l'artisanat ont également été identifiées, signe d'un approvisionnement de proximité combiné avec des bois plus lointains. Les bois exogènes dans la construction traduisent-ils un indice de richesse ? Y avait-il un commerce particulier à Fréjus pour la première moitié du Ier s. apr. J.-C. différent entre le bois destiné à la combustion et le bois ouvragé ? Peut-on les rapprocher d'autres sites Méridionaux ?[716]

Enfin, pour le col d'Adon, situé à 1000 m d'altitude, c'est également le sapin qui interroge sur la question d'un approvisionnement de bois plus éloignés. Pour la majorité des éléments en bois analysés, les essences de pin de type sylvestre et le chêne à feuillage caduc sont attestés : ces espèces sont sur ce site dans leur biotope habituel et paraissent croître à proximité immédiate de l'habitat. L'analyse du niveau de circulation, dont le sapin est absent, a mis en exergue cet état de fait. La localisation d'*Abies alba* est probablement assez proche du site, mais peut-être située sur un autre versant en ubac et certainement plus haut en altitude. Pourquoi les populations locales sont-elles allées chercher ces pièces en sapin ? Pour une fonction en particulier dans la construction ? Nous arrivons dans ce cas à la limite de ce que les données archéologiques peuvent offrir.

---

711 Menée par DENDROTECH.
712 Réalisée par F. ÉPAUD.
713 Source DENDROTECH, en cours.
714 Pas d'infestation post-ouvrage et assez peu de nœuds (F. ÉPAUD).
715 60 cm de large pour 60 cm de haut pour plusieurs mètres de longueur (entre 4 et 8 m parfois).
716 COULON 1990 ; COQUIDÉ *ET AL.* 2009 ;SEGARD 2009.

- Le stockage du bois et le réemploi

C'est en particulier sur les sites de Rezé et de l'école des Poiriers que la question de l'utilisation de bois stockés, voire de réemploi, s'est posée. Le réemploi, rarement documenté en archéologie hormis via les datations dendrochronologiques, illustre des pratiques spécifiques de gestion du bois et constitue un fait largement sous-estimé pour l'époque romaine. Il est à noter que, pour le col d'Adon (US 4095), l'hypothèse retenue, car plus probable, est celle d'une huisserie qui aurait brûlé dans l'incendie ; or la configuration du site n'exclut pas totalement l'idée de bois réemployé dans le foyer.

Dans le cas de Rezé, le stockage du bois d'œuvre avant son travail et sa mise en place dans la constitution des quais monumentaux a été révélé par deux indications. La première concerne les différences de datations entre les périodes d'abattages des arbres et la réalisation des quais, où il y a un « blanc » est perceptible (DENDROTECH, en cours). La deuxième est l'attestation de la présence du grand capricorne du chêne (*Cerambyx cerdo*) avec des galeries de grandes tailles manifestant un cycle de développement terminé par l'insecte. Sa présence dans ces conditions accrédite l'idée d'un stockage du bois pendant une période d'au moins deux ans.

Un autre cas de réemploi (ou de stockage de bois secs ?) est à souligner pour le site de Rezé et concerne huit pieux[717] infestés par *A. punctatum* (Ptinidae) et par le genre *Lyctus*. Ces insectes, typiques du bois sec, et plus particulièrement de bois d'œuvre, n'ont pas pu se développer sur les bois une fois immergés et ont donc forcément infestés les bois avant leur mise en place dans l'aménagement des berges.

Le foyer des thermes du site des Poiriers, dont la fonction était de chauffer un ou plusieurs bains, aurait pu être composé de diverses essences, qui auraient été stockées expressément dans ce but ou bien de bois mort comme c'est le cas à Châteaubleau. Le bois vert brûlant moins bien que le bois sec, cette explication semble exclue. Toutefois, l'analyse n'a caractérisé qu'un seul taxon, le sapin, qui est une essence exogène à Fréjus, et qui, de plus, est infesté par la petite vrillette (*A. punctatum*). L'ensemble des données rassemblées tend alors vers l'utilisation d'un bois soit de réemploi de vieux bois d'œuvre, soit de sapin stocké sous abri. La première hypothèse semble la plus plausible pour l'époque gallo-romaine, considérant le coût potentiel d'un tel approvisionnement qui demeure certes inconnu mais vraisemblablement plus élevé que celui d'un bois recueilli localement. Avec la logique actuelle, il est difficile de s'imaginer, un stockage exclusif de sapin destiné à être utilisé comme bois de chauffage, à moins qu'il ne s'agisse d'une réserve stratégique ou d'un dépannage de matière première ?

Par rapport à tous les sites archéologiques présentés, les charbons du four du théâtre de Châteaubleau font office de contre-exemple. En effet, l'hypothèse originelle tendait vers un usage de bois secs, voire de réemploi pour le fonctionnement du four en tant que combustible (hypothèse V. PY)[718]. Or, après l'analyse anthraco-entomologique, il est plutôt probable que le bois utilisé était à l'origine du bois mort humide, en décomposition parfois avancée, sans doute récolté à même le sol en forêt et infesté par des charançons du bois.

[717] *Cf.* page 290.
[718] PY 2015.

- Identification des ravageurs et traitement préventif et curatif : données textuelles et archéologiques

Une des grandes questions de cette recherche a également été la suivante : les artisans et les bâtisseurs de l'Antiquité avaient-ils conscience de la présence ou non des ravageurs du bois et si oui, tentaient-ils quelque chose pour freiner l'infestation ?

En ce qui concerne la connaissance des insectes, il a semblé intéressant de comparer les données archéologiques avec les citations de la littérature savante antique relevées dans le Chapitre I (TABLEAU 332). La dénomination de ces insectes suppose une reconnaissance tant de l'animal en lui-même que de la menace potentielle qu'il représente sur les constructions humaines en bois ouvragé.

Ainsi, mis à part le taret dont la spécificité est de se nourrir de bois immergé (épave, coque de bateau), les principales grandes familles attaquant le bois d'œuvre sont citées par les auteurs antiques et sont également présentes dans les données acquises par l'archéologie acquises, à l'exception du lycte, uniquement représenté dans les données entomo-anthraco(xylo)logiques. Par ailleurs, les fourmis xylophages, les termites, la famille des platypes[719] et les hyménoptères xylophages pondant dans le bois sont les grands absents des sources textuelles. La présence de fourmis sur Camelin et de termites sur un objet du site des Cléons sont seulement soupçonnés.

Famille/espèce	Occurrence latine	Attestation archéo.	Sites
Capricorne (Cerambycidae)	Traduction grecque "longicorne" (Théophraste)	oui	Rezé, les Jacobins, col d'Adon
Cossoninae	*Cossi*, Cossons (Pline)	oui	Châteaubleau, Chassenon, Cébazat, Camelin, Les Jacobins
Fourmi xylophage	NÉANT	oui ?	Camelin
Lycte	NÉANT	oui	Rezé, Les Jacobins, Chassenon
Platype	NÉANT	non	NÉANT
Sirex, Hyménoptères	NÉANT	non	NÉANT
Scolyte	"des vers s'insinuent sous l'écorce et font sur le tronc des gravures superficielles" (Théophraste)	oui	Rezé
Taret (*Teredo Navalis*)	*Teredini* (Pline, Vitruve ; Théophraste)	non	NÉANT
Termite	NÉANT ("*tarmitem*" chez Vitruve selon les traduction?)	oui ?	Les Cléons
Vrillette (Ptinidae)	Traduction grecque "vrillette" (Théophraste)	oui	Les Jacobins, col d'Adon, Camelin, Rezé, les Cléons, la Porte Allain, Alésia, Les Poiriers (Foyer)

TABLEAU 332 - Liste des grandes familles d'insectes (ou de vers) xylophages connus aujourd'hui, par les citations antiques et attestées archéologiquement.

Parmi les insectes cités et connus par les auteurs antiques, lesquels étaient perceptibles sur le terrain ? En effet, il convient de rappeler que ces sources textuelles n'avaient pas pour objectif d'être lues par la plupart des populations, mais demeuraient dans un cercle restreint de personnes d'un bon niveau social et de propriétaires fonciers de *villa*. Mais a-t-on toutefois des indices archéologiques de leur éventuelle détection ? Ainsi, dans le cas de l'infestation par le grand capricorne du chêne (*C. cerdo*) à Rezé, l'hypothèse de la non perception de sa présence par les constructeurs semble difficilement soutenable, notamment en raison de la

[719] Insectes xylophages et cambiophages, comme le scolyte, qui interviennent dans le dépérissement de certaines forêts. En raison des problématiques de la thèse, cette famille n'a pas été abordée.

grande taille des galeries (plusieurs centimètres) qui ont été recoupées lors du travail du bois par les outils : il est donc logique qu'elles aient été vues par les artisans. Toutefois, il ne semble pas y avoir de marque particulière attestant le besoin d'effacer ou de réparer ces traces. C'est-à-dire que les artisans n'ont pas insisté avec leurs outils au niveau de ces galeries, ce qui aurait pu être le cas. Ils semblent donc avoir ignoré cette infestation qui ne paraît pas les avoir gênés pour le façonnage des pièces. Au sein de l'ensemble des études réalisées, seul le site de Rezé présente le cas d'utilisation d'arbres qui étaient malades au moment de leur coupe et dont les insectes n'ont pas pu terminer leur cycle de développement à cause de l'immersion du bois (scolytes). Aucun indice ne nous permet aujourd'hui de savoir réellement si les populations les avaient remarqués ou non, d'autant plus qu'il s'agit d'une espèce cambiophage et donc cachée sous l'écorce. Autre cas de figure, l'étude des planchers 3775 et 3007 et de l'estrade 3495-3597 de Camelin montre soit une ignorance de l'infestation, soit une non prise de conscience, voire l'indifférence, face à aux dégâts subis par les structures. Les traces relevées et identifiées témoignent d'une succession de plusieurs générations d'insectes qui, au moment de l'incendie, avaient bien entamé l'aspect et les propriétés mécaniques du bois. Toutefois, il faut noter l'hypothèse de l'utilisation de quelques pièces de bois de réparation (CH 23 pour la structure 3775 et CH 2 pour la structure 3007), mais est-ce en lien avec la dégradation des structures par les insectes ? La conscience de la présence ou non des insectes par les populations se pose également pour le bûcher funéraire de Cébazat (63), la cuisine de Chassenon (16) et le four à chaux de Châteaubleau (77), tous infestés par des charançons du bois et dont les bois sont dans un état de décomposition plus ou moins avancé. Cet état sanitaire est figé dans le temps grâce à l'incendie. Les populations ont probablement perçu l'état de ces bois plus humides et plus cassants que du bois vert, en particulier pour Châteaubleau où les bois sont trop dégradés pour être passés inaperçus. Mais compte tenu de l'ensemble des informations acquises pour chacun de ces contextes archéologiques, il semble que ces bois utilisés comme combustibles sont le résultat d'un choix, peut-être même d'un choix stratégique. En effet, le bois mort, s'il est séché peut-être d'un très bon apport calorifique pour faire démarrer ou monter en température un feu[720]. Sur le site des Jacobins, nous manquons d'informations archéologiques et entomo-anthracologiques : le plancher est vraisemblablement infesté par le lycte, mais il n'est pas possible d'évaluer avec précision l'ampleur de cette attaque et ni de mettre en évidence une éventuelle réparation ou traitement.

Contrairement aux textes, dans l'état actuel des études archéologiques effectuées pour ce travail, il n'a pas été possible de mettre en évidence un éventuel traitement du bois. Aucune trace de poix ni d'un quelconque autre mélange (amurque, badigeon de chaux...) n'ont pour l'heure été retrouvés.

* * *

L'apport de l'étude entomologique appliquée au bois constitue un apport essentiel pour fournir de nouvelles données d'interprétations archéologiques qu'il est possible de décliner en plusieurs points.

[720] PY, communication orale.

- Infestations taphonomiques ou récentes

Le taux d'infestation « taphonomique » ou actuelle est dépendant de la conservation des vestiges et des conditions de prélèvement et de stockage des échantillons. Il a été possible dans la plupart des études de cas, de distinguer les deux périodes d'infestations via la connaissance de la nature des spécimens : non xylophages et/ou mue actuelle non dégradée ou hyphes de champignon non carbonisés (blanc ou orangé) et situés en surface des échantillons (FIGURE 293).

Le cas des bois du site d'Alésia est une exception. En effet, environ la moitié des objets en bois sont infestés par la petite vrillette. Compte tenu des informations fournies par le MuséoParc cette espèce a attaqué les bois durant les années 1950 alors qu'ils étaient stockés dans les réserves du musée. Les conservateurs, ayant remarqué la dégradation progressive des objets, ont traité les bois à l'arsenic. Ce cas particulier d'infestation actuelle pose la question de la pérennité de l'attractivité des bois archéologiques. Il en est de même à Rezé pour les xylophages aquatiques récents, qui concernent 10,12% de l'ensemble des bois étudiés.

Pour des exemples comme Camelin, il est difficile de présenter sous forme de pourcentage le taux de fragments infestés archéologiquement et celui des infestations récentes sans traiter des mêmes charbons. Ces données sont donc à prendre individuellement. Ainsi les bois ouvragés de Camelin, de Barzan, du col d'Adon et des Jacobins ont été infestés après ou pendant la fouille respectivement à environ 14,03%, 30%, 12,2% et 24%. Les fours, les foyers et les objets (Camelin, Cébazat, Chassenon, les Poiriers, Rezé, les objets des Cléons, des Fille-Dieu et de la Porte-Allain) ne présentent aucune trace d'infestations par les hyphes, les acariens vivants, les collemboles et les larves de scolopendre. L'hypothèse est que, la fouille durant plusieurs semaines à plusieurs mois selon les cas, beaucoup de micro-organismes ont pu se développer dans les sédiments et sur les charbons de bois. À l'inverse, les charbons provenant des fours sont sains de toute pollution actuelle peut-être en raison soit d'un tamisage et d'un séchage rapide ainsi que d'une mise en conditionnement bien au sec, soit d'un désintérêt de ces charbons de plus petite taille par ces micro-organismes, qui n'offriraient alors pas le même environnement.

Avec plus de 60% des charbons infestés par des hyphes et en parallèle avec la forte proportion de galeries de type charançon, la question de la pollution récente reste en suspens pour le site de Châteaubleau, car l'ensemble de l'état des charbons induit plutôt un bois à l'origine en très mauvais état : très humide et en cours de décomposition.

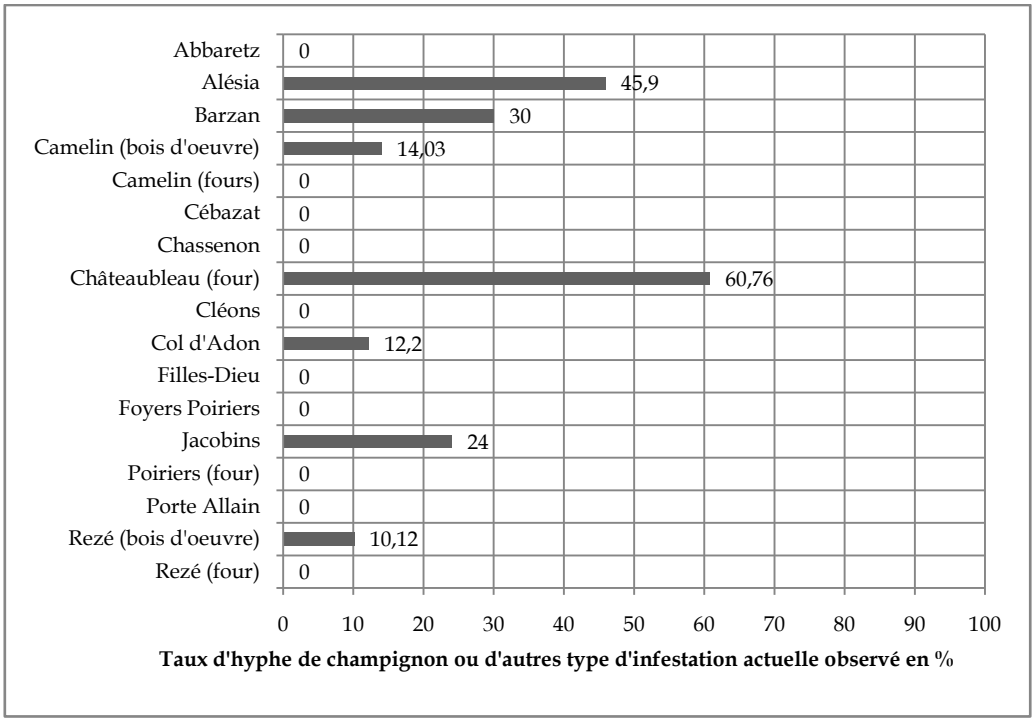


FIGURE 293 - Proportion en % d'hyphes et d'autres infestations récentes, observés par site du corpus.

- Infestations archéologiques

Une fois les risques d'infestation actuelle attestés et écartés, il est possible de se concentrer sur les seules infestations que l'on nomme « archéologiques », c'est-à-dire qui concernent directement les insectes xylophages ou les champignons lignivores ayant attaqués le bois au moment de son utilisation ou auparavant.

Les galeries

D'une manière générale, dans les sites étudiés l'infestation concerne moins de la moitié des bois étudiés, excepté sur le site de Châteaubleau avec plus de la moitié des bois infestés (58,8%) (FIGURE 294).

En raison de la méconnaissance du contexte archéologique et du contexte de stockage avant le traitement des bois par une structure comme Arc'Antique, la question demeure pour les objets du site des Cléons : s'agit-il bien d'infestations archéologiques ou est-ce qu'il s'agit d'une attaque moderne du même acabit que pour les bois d'Alésia ? En revanche, pour les bois de la Porte-Allain (Trégueux), la fouille venait récemment de se terminer au moment où G. LEMOINE a entrepris l'imprégnation au peg des objets. Les autres collections des musées, les Fille-dieu et Abbaretz ne présentent pas de traces d'infestation, ni moderne ni antique.

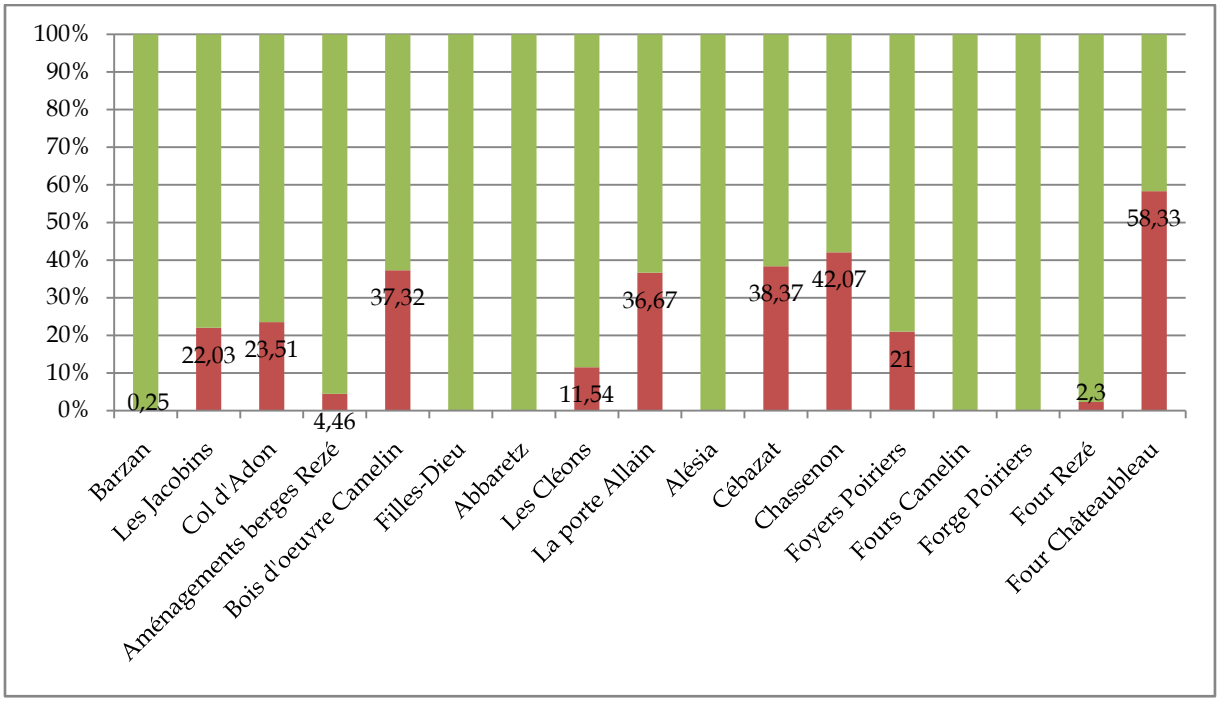


FIGURE 294 - Proportion en % de bois sains (vert) et de bois infestés (rouge) par site du corpus.

La pourriture cubique

Les déformations du bois effectuées par la pourriture cubique sont aisément reconnaissables sous une loupe binoculaire et son attestation peut être directement reliée aux infestations des insectes xylophages. En revanche sa proportion n'est pas égale sur tous les sites et les contextes du corpus (FIGURE 295).

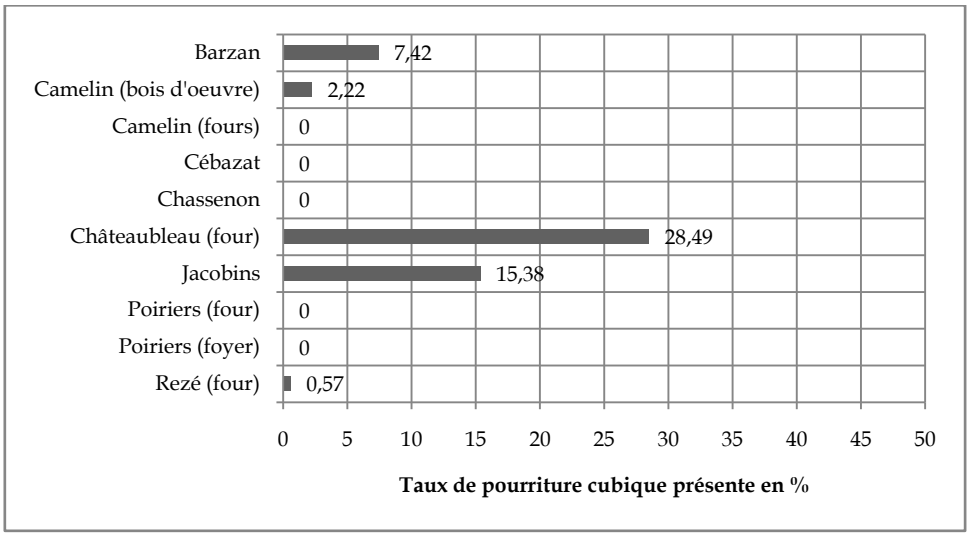


FIGURE 295 - Proportion en % de pourriture cubique observée par site du corpus concerné.

Dans le cas de Rezé, la nature du site en zone humide rend son taux de pourriture cubique logique et non interprétable pour l'heure. Ce dernier n'a même pas été enregistré en détail car ce phénomène est visible sur chaque pieu, sablière, poteau... Il en est de même pour les objets qui sont à l'origine gorgés d'eau et découverts dans des puits. La pourriture cubique a ainsi pu intervenir à différents moments de l'utilisation mais surtout lors de l'éventuel abandon de l'objet et/ou du site et/ou durant le temps de sédimentation de la berge ou des puits. Il s'agit donc bien de prendre en compte, ici, les traces de pourritures

cubiques observées uniquement sur les charbons de bois. Pour le col d'Adon, seule la paroi 4090 en présente, mais semblant être, comme Rezé, une tendance générale, ils n'ont pas été strictement quantifiés.

La tendance générale montre que les bois de combustion, sauf Châteaubleau, n'étaient pas colonisés par ce champignon lignivore au moment de leur utilisation et plaide ainsi en faveur de l'idée de bois mort dans les cas de Cébazat et de Chassenon, mais non soumis à l'action constante d'une humidité élevée. Dans le cas contraire, Châteaubleau présente plutôt des bois humides avec 28,49% de l'ensemble infesté par la pourriture cubique ainsi que la forte présence de charançons et probablement une partie des hyphes qui attesteraient peut-être d'un autre type de champignon lignivore (*cf. supra*). L'état des bois est inconnu pour les sites des Poiriers et de Camelin. Ils peuvent avoir été stockés, mais ce sont peut-être des essences ligneuses qui ne sont pas attractives aux yeux des insectes (bruyères, cistes).

Le cas de Barzan est intéressant car la proportion d'infestation par le champignon est plus élevée que celui des insectes xylophages (7,42% contre 0,25% de l'ensemble des bois observés). Or, on sait maintenant que plusieurs espèces de xylophages chez les scolytes par inoculation du champignon par la femelle pondeuse, mais aussi chez les vrillettes (et sans doute d'autres) ont besoin, ou plutôt privilégient, les bois dégradés au préalable par un champignon lignivore afin de faciliter la progression des larves dans le bois et la digestion des différents composés ligneux. Ainsi, le site de Barzan pose l'hypothèse des prémices d'une infestation, peut-être à cause d'une infiltration d'humidité, d'où la présence de ce champignon, qui aurait été stoppé net par l'incendie.

Les 2,22% de pourriture cubique des bois ouvragés de Camelin concerne en particulier les pièces situées à l'est du plancher 3775. Situées au-dessus d'un caniveau, ces pièces ont probablement été les premières à être infestées, l'attaque des xylophages s'étant répandue au fil des générations (d'insectes) sur l'ensemble du plancher.

Enfin, un peu plus de 15% des bois sont colonisés pour le site des Jacobins, l'ensemble de la structure (US 10706) n'étant pas connue, il est difficile de dire s'il s'agit d'une tendance générale sur l'ensemble du plancher ou si, comme Camelin, il y avait une concentration accrue sur un point précis.

LES DIFFÉRENTS TYPES D'INFESTATION ARCHÉOLOGIQUES

Au cours de ce travail, le recensement des différentes espèces xylophages et leur identification a constitué un aspect essentiel. Elle a conduit à construire un graphique et d'une carte prototype de répartition des insectes selon les sites présentés, ci-après (FIGURE 296 et 297). Ces études ont aidé à la détermination de différentes catégories d'infestation.

- *Catégories d'infestations*

Il est désormais possible de caractériser le type d'infestation, en particulier le moment de l'infestation du bois grâce à la connaissance des espèces ou familles de xylophages observés : bois sur pied, mort en forêt, stocké sous abri ou non, bois ouvragé et infestations actuelles (TABLEAU 333).

Site	Moment de l'infestation					
	Arbre	Mort en forêt/ décomposition	Stockage av. façonnage	Ouvragé	Réemploi	Post-abandon/actuel
Alésia						x
Camelin				x		
Cébazat		x				
Chassenon		x				
Châteaubleau		x				
Cléons				x		
Col Adon				x	?	
Jacobins				x		
Poiriers			x		x	
Porte Allain				x		
Rezé	x		x	x	x	x

TABLEAU 333 - Moment de l'infestation des bois selon les sites présentant des traces d'insectes xylophages.

La détection des insectes xylophages sur les bois ou les charbons de bois ouvragés répartit les sites archéologiques en deux grandes catégories. La première regroupe les sites positifs comme ceux de Fréjus (bois d'œuvre de Camelin et foyer des Poiriers) qui forme un cas d'école pour le bois carbonisé, Rezé qui est un cas d'école pour le bois gorgé d'eau, l'exemple rural et alpin du col d'Adon, les bois de combustion et du bûcher funéraire (Chassenon, Cébazat, le four de Rezé) qui ont fait office de tests méthodologiques parmi lesquels se trouvent des contre-exemples (Châteaubleau et le foyer des Poiriers). La seconde rassemble les quelques sites, structures et objets négatifs, qui n'ont fourni que très peu, voire aucune information sur les insectes xylophages ou sur les champignons lignivores : Barzan avec 0,25% d'infestation, les fours de Camelin et la forge des Poiriers, et le linteau en chêne 4070 du col d'Adon. Ce dernier semble avoir été protégé des insectes xylophages car il était pris dans la maçonnerie édifiée au mortier de chaux. Il ne semble pas s'agir là d'un traitement volontaire pour éloigner les insectes, mais d'une protection liée aux méthodes de construction. Par ailleurs, d'autres éléments en chêne sont présents sur le site (parois 4090) et sont infestés ; s'il s'agissait d'un traitement, il aurait probablement été répété sur l'ensemble des bois de l'habitat, mis en œuvre en même temps.

Les sites où les prélèvements et les analyses étaient maîtrisées, tels que Camelin ou Rezé, sont considérés comme exhaustifs du point de vue de l'analyse anthraco(xylo)entomologique car la méthodologie d'étude a été appliquée à l'ensemble des échantillons fouillés. Or, pour les autres sites et objets, l'étude a été faite en fonction des données existantes ou de données fournies. D'une part, les bois du col d'Adon (27,54% d'infestation) ou de Camelin (37,32% d'infestation) sont clairement identifiés à la fouille comme étant des bois ouvragés et les résultats entomologiques viennent confirmer les observations de terrain, notamment par l'identification de la petite vrillette. Il est alors possible d'aller plus loin dans l'interprétation même de la structure, en s'intéressant aux concentrations des galeries pour essayer d'en dégager un point de départ, voire une durée minimale de l'infestation. D'autre part, certains cas, comme le four du théâtre de Châteaubleau et le foyer des thermes des Poiriers, sont des contre-exemples chacun à leur manière, avec une analyse anthraco-entomologique qui démontre un choix de combustible différent de celui traditionnellement attendu : l'utilisation de bois mort en forêt pour l'un et de bois d'œuvre en réemploi pour la combustion pour l'autre.

Pour les études de cas présentées au sein du Chapitre IV, il est plus aisé d'élargir et d'interpréter l'ensemble du site dans son approvisionnement en bois, l'état sanitaire des structures et ainsi de voir s'il s'agit d'une tendance générale au site ou non. Au contraire, pour les sites et objets présentés dans le Chapitre V, il est nécessaire de se focaliser uniquement sur la structure analysée. Ces exemples ne demeurent pas pour autant anecdotiques car ils forgent des analyses et des interprétations à part entière, chaque cas étant unique de par son contexte archéologique mais aussi de par la conservation de ses bois, carbonisés ou gorgés d'eau.

- Répartition des insectes xylophages

Précédemment, il a été souligné que la petite vrillette (*A. punctatum*) et le capricorne des maisons (*H. bajulus*) sont, de nos jours, les ravageurs de bois ouvragés les plus courants. Fort des études de cas traités pour les bois gallo-romains, il est possible d'esquisser une première carte de répartition de présence ou d'absence des espèces xylophages.

Toutefois, la quantité de données récoltées n'est pas encore suffisante à l'échelle régionale et nationale pour proposer, à l'époque gallo-romaine, des aires de répartition précises de certaines espèces, comme le lycte, la grande vrillette ou certains scolytes. La caractérisation des scolytes questionne sur l'économie forestière et l'état sanitaire à plus ou moins grande échelle d'une communauté d'arbres.

Il est manifeste que la petite vrillette est l'espèce la plus souvent attestée, tant sur les objets (Porte Allain, Les Cléons) que sur les bois de construction (Camelin, Rezé, Les Jacobins et le col d'Adon).Ces données reflètent le côté cosmopolite et sinanthrope de cette espèce telle qu'elle l'est encore de nos jours. À l'inverse, le capricorne des maisons est absent. Est-ce dû aux divers contextes archéologiques et/ou à la taille des charbons de bois ? Ces derniers sont peut-être parfois trop petits pour avoir pu préserver de grandes galeries ovales atteignant jusqu'à 1 cm de diamètre.

Un autre cas intéressant est celui des charançons du bois qui sont bien représentés (Camelin, Jacobins, Chassenon, Cébazat, Châteaubleau). Ils témoignent d'une humidité importante du bois avant sa carbonisation. Ainsi la présence de cette famille sur les bois d'œuvre laisse penser que la structure était peut-être soumise aux intempéries ou à un souci de conception en laissant l'eau s'infiltrer. Leur caractérisation dans les bois de combustion tend documenter l'utilisation de bois mort provenant de la forêt par exemple.

Sur le site du col d'Adon, la grande vrillette (*X. rufovilosum*) a été attestée. Son association avec *A. punctatum* sur la paroi 4090 conduit à deux interprétations bien différentes et entre lesquelles pour l'heure il n'est pas possible de trancher : la première serait une potentielle infestation contemporaine de l'une et de l'autre espèce révélant une paroi en bois qui marquent une limite entre un espace couvert et un espace fermé ; et la seconde hypothèse prône pour des infestations décalées dans le temps, celle d'*Anobium* survenue lors du fonctionnement de l'habitat et celle de *Xestobium* intervenant après l'abandon du secteur et surtout après les premiers effondrements de la toiture avant l'incendie.

Sur le plancher 3775 du site de Camelin, l'attestation de la vrillette brune (*Oligomerus ptilinoides*) en association avec la petite vrillette renforce l'idée d'une infestation rapide du plancher et de sa dégradation probablement en peu d'années à cause d'un vide-sanitaire (caniveau) situé trop près d'une des sablières. Un souci de conception dans l'architecture est

ainsi révélé. Cette situation laisse également penser que les habitants de cet endroit n'ont très probablement pas remarqué l'état de ce bois avant l'incendie général du quartier.

Grâce aux analyses et aux mesures effectuées sur les galeries récentes, réalisées en collaboration avec A. CRIVELLARO[721], il a été possible d'apprendre à détecter le lycte[722] sur les bois archéologiques, notamment sur les sites de Rezé (aménagements de berges et four), des Jacobins et de Chassenon. Sans cette étude préalable, il semble évident que l'identification aurait été biaisée voire impossible. En effet, si une vermoulure composée d'unités identifiables comme des formes fusiformes (vrillette) fond à la carbonisation, le phénomène se traduit par une agglomération de ces unités qui se transforment en poussière dès qu'on tente de les extraire et gomme la forme d'origine. C'est particulièrement ce point qui rend la confusion avec une vermoulure de type fleur de farine comme celle du lycte possible. Les galeries seraient restées indéterminées en raison du risque de confusion trop important avec des galeries de type Ptinidae (même forme et taille), où il aurait été possible de penser que la vermoulure avait fondu à la carbonisation ou disparu si le bois est gorgé d'eau.

Si les investigations xylo-entomologique se poursuivent et s'appliquent de manière systématique, il sera peut-être envisageable, un jour, d'obtenir suffisamment d'informations sur certaines espèces de xylophages et leur répartition pour proposer des indicateurs environnementaux à une plus grande échelle que celle circonscrite au seul site.

[721] *Cf.* Chapitre II, page 115.
[722] Galeries ciblant le bois initial (grands vaisseaux) de certaines essences comme le chêne.

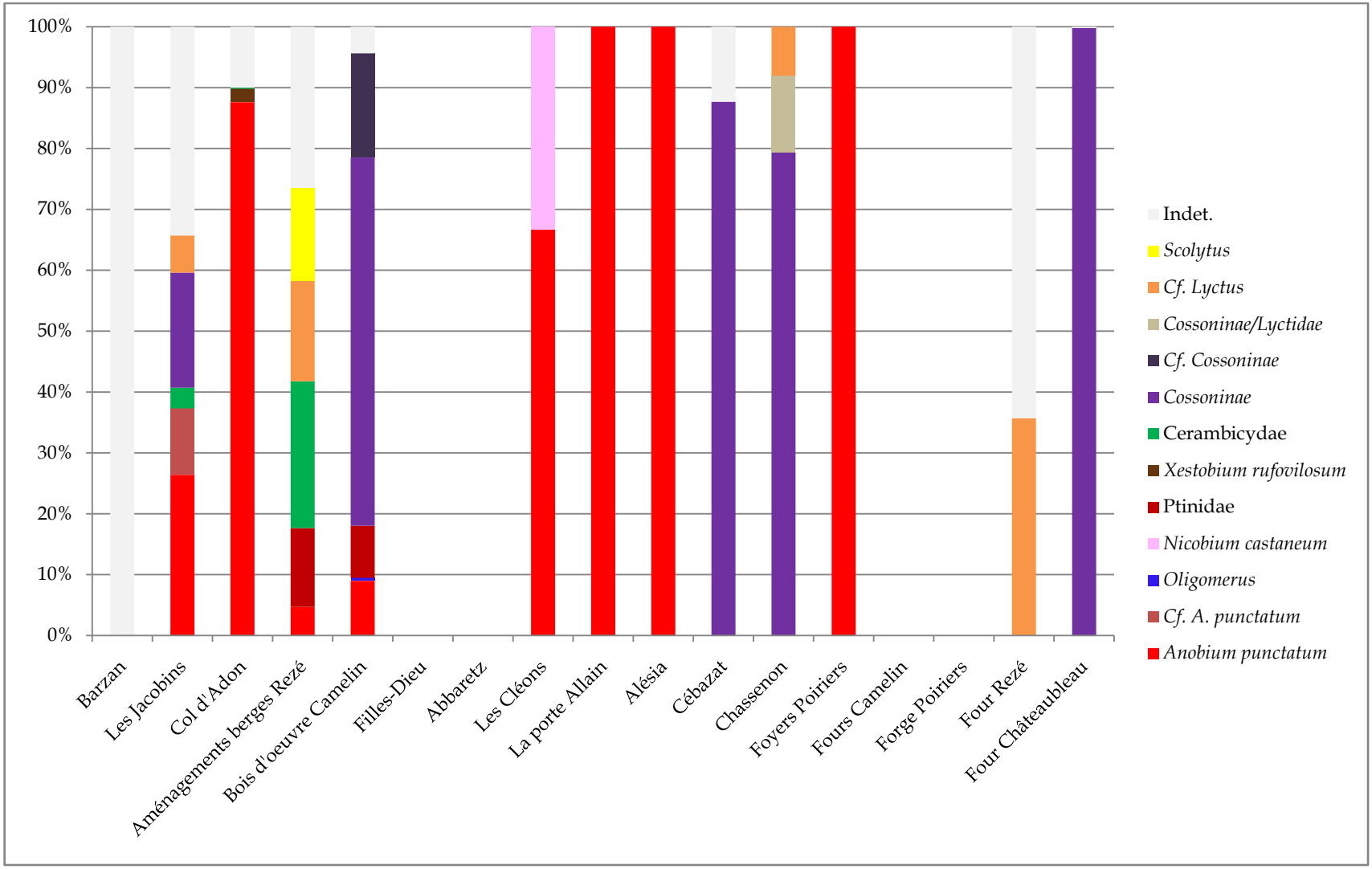
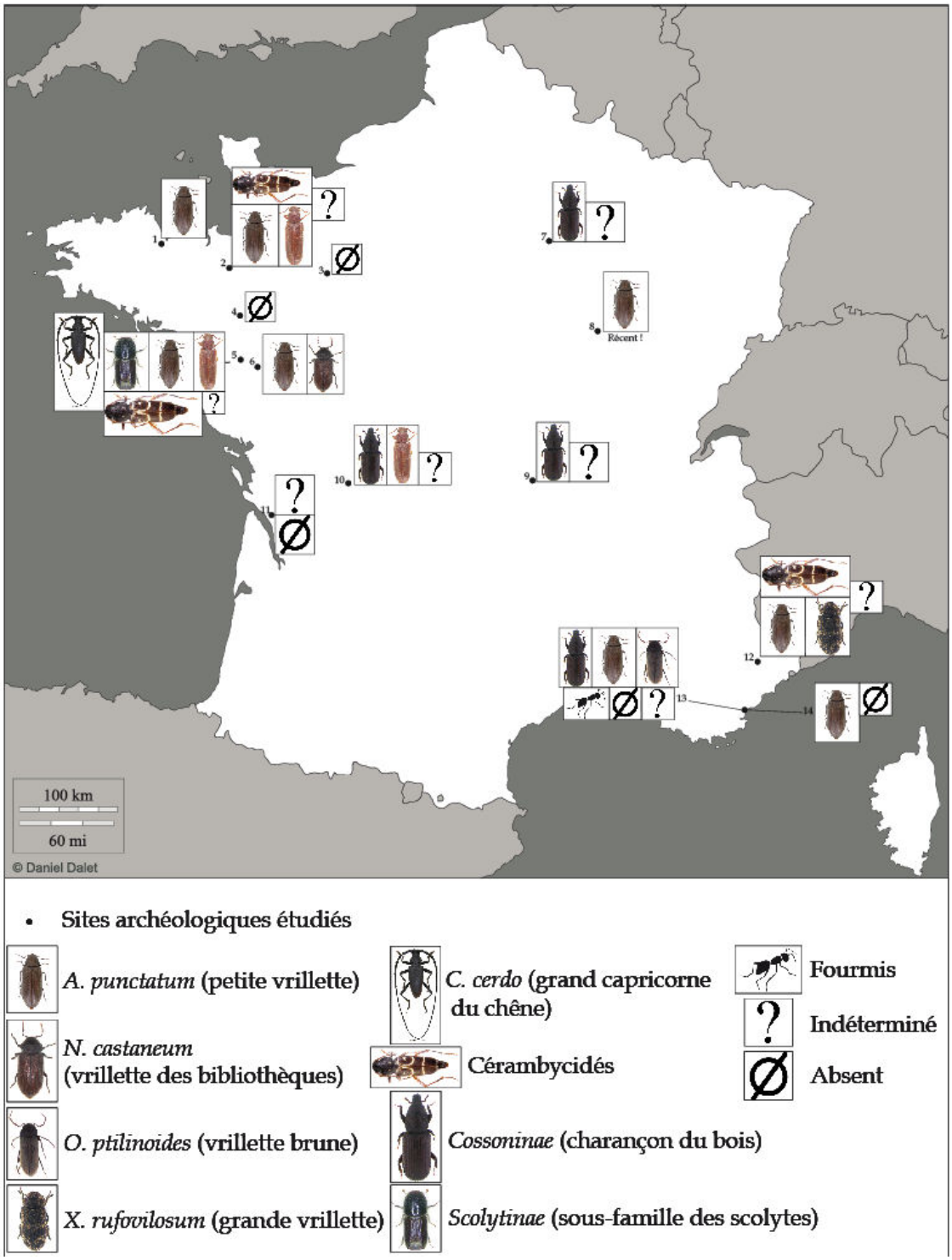


FIGURE 296 - Variabilité des espèces attestées sur les différents sites archéologiques étudiés.



N°	Site	Commune	Dépt.	Type
1	La porte-Allain	Trégueux	22	objets
2	Couvent des Jacobins	Rennes	35	bois d'œuvre
3	Filles-Dieu	Le Mans	72	objets
4	Abbaretz	Abbaretz	44	objets
5	Rezé - Quartier Saint-Lupien	Rezé - Nantes	44	bois d'œuvre/ four
6	Les Cléons	Haute-Goulaine	44	objets
7	Châteaubleau	Châteaubleau	77	four
8	Alésia	Alise-Sainte-Reine	21	objets
9	Maison blanche -Champ Roche	Cébazat	63	bûcher funéraire
10	*Cassinomagus*	Chassenon	16	foyer
11	Le Fâ	Barzan	17	bois d'œuvre
12	Le col d'Adon	Les Mujouls	06	bois d'œuvre
13	Les Poiriers	Fréjus	83	foyer
14	Îlot Camelin	Fréjus	83	bois d'œuvre/ fours

FIGURE 297 - Carte générale de répartition des insectes attestés archéologiquement sur les sites du corpus.

- Étudier le bois gorgé d'eau ou le bois carbonisé ? (avantages/inconvénients)

Les données acquises à partir de bois gorgé d'eau comme à Rezé, paraissent présenter plus de diversité entomologique. En effet, le bois conserve la structure archéologique ainsi que la structure originelle de la galerie dans sa globalité en amoindrissant les dégâts liés au temps. De ce point de vue, Rezé est un site exceptionnel et, par conséquent, à part. Les structures carbonisées laissent planer plus de doutes sur l'intégralité ou non de leur conservation : les bois ont-ils entièrement brûlés ou la partie externe du bois a-t-elle, à l'inverse, été trop carbonisée ? L'avantage d'étudier des charbons de bois réside dans la meilleure préservation des vermoulures si elles ne s'agglomèrent pas trop. Au fil des analyses effectuées pour ce travail, il ressort qu'il n'y a pas de condition de préservation meilleures que l'autre des galeries et des vermoulures, et qu'il est préférable d'adapter la méthodologie au cas par cas (contexte archéologique, fonction du bois, taille de la structure...).

LES ESSENCES À RISQUE

L'idée, ici, est de proposer pour chaque essence les plus utilisées dans la construction, des proportions entre celles infestées et celles non infestées afin de repérer les essences les plus à risque et celles les plus résistantes aux attaques des xylophages (FIGURE 298).

Dans le cas du chêne, avec près de 3000 fragments et échantillons (charbons et bois) observés, l'essence n'est infestéequ'à 8% pour le chêne atlantique et 1% pour le chêne méditerranéen. C'est l'essence qui semble plus résistante par rapport aux autres. Est-ce une des raisons pour lesquelles il s'agit d'un bon bois de construction ? Le chêne sécrète un tanin naturel : c'est peut-être ce qui le rend résistant[723]. De plus, le chêne semble, chez les auteurs antiques, être le bois de construction par excellence.

À l'inverse, dans le cas du hêtre, dupeuplier et du sapin, les observations ont montré queces essences sont bien pluscolonisées que le chêne mais aussi que toutes les autres essences identifiées. Le hêtre, qu'il soit en milieu alpin ou atlantique, se fait attaquer à hauteur d'environ 50%. Le peuplier, qui a été reconnu à Châteaubleau, présente une forte proportion d'infestation (57%). Le sapin, présent à Camelin, aux Poiriers et au col d'Adon est sensible aux attaques de xylophages avec une proportion à près de 60% peut-être parce qu'il s'agit d'un bois tendre.

La même approche comparative a été envisagée en prenant en compte le type d'espèce de ravageur par essence. Cette comparaison s'est cependant révélée limitée, dans la mesure oùla nature du contexte (un bois humide susceptible d'être envahi par telle ou telle espèce) et la biologie de l'insecte varient d'un cas à l'autre : par exemple le lycte est inféodée aux essences poreuses, en particulier le chêne, ainsi, le comparer avec des infestations sur du hêtre semble inutile.

Les proportions exposées ici pour les essences ligneuses ayant été caractérisées à partir des études de casmenées dans ce travail ne constituent qu'une première approche qu'il faudra appronfondir régionalement afin de préciser ces premières tendances générales.

723 DIROL, DÉGLISE 2001.

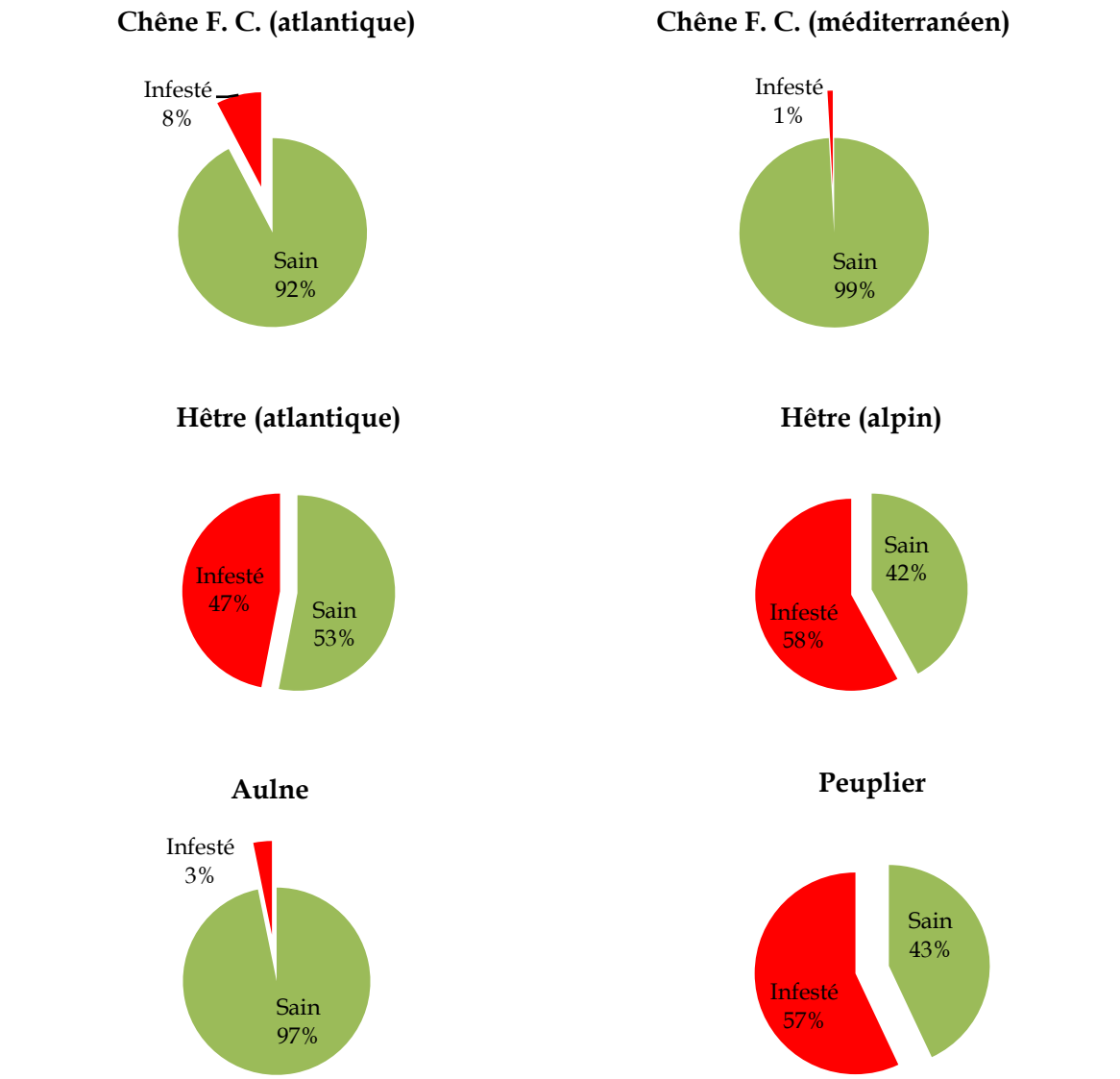


FIGURE 298 - Proportion moyenne d'infestation des pièces de bois en fonction des essences, tous sites confondus.

PERSPECTIVES

L'intérêt premier de ce travail était de se concentrer en priorité sur les xylophages de bois secs. Or, notamment lors de l'analyse des bois de Rezé, l'observation d'espèces de bois frais, dont des cambiophages, a enrichi la base de données et ouvert l'éventail des interprétations possibles. Ces insectes seront donc à l'avenir systématiquement ajoutés à la clé d'identification, dès lors qu'un prélèvement de bois récent aura été effectué et validé (bois avec larve vivante en croissance jusqu'à la phase adulte). Ce procédé d'attente peut être très long, allant de quelques mois à plusieurs années selon les espèces, mais il est essentiel afin d'observer et de comprendre la biologie spécifique de ces individus et d'être certaine de leur identification. Une fois l'espèce validée, il sera possible de débuter l'enregistrement des mesures et des observations des vermoulures et des galeries. Ainsi, au moment de clore ce travail, des élevages et des prélèvements effectués en forêt[724] sont en attente dans les locaux du CICRP. Ils concernent entre 7 et 10 espèces de xylophages de bois entreposées et de bois frais[725]. Leurs fiches de description respectives viendront enrichir le volume III.

Avec un certain nombre d'ajustement, cette recherche peut également prendre en compte la faune aquatique (térébrants marins et autres mollusques creusant dans le bois) d'une part et d'autre part, comme il en a été fait mention à plusieurs reprises, les champignons lignivores et dont l'étude a été initiée par M. MAGDALENA DEL HOYO et son équipe. Parmi les informations susceptibles d'être récoltées à travers l'analyse des champignons lignivores, il y a la potentielle indication d'un temps de stockage et/ou de séchage. En revanche, les difficultés de telles études ne sont pas à sous-estimer, sachant qu'il y existe une grande variabilité des espèces et des conditions bio-écologiques de prolifération et de croissance ; de même il faut savoir discriminer entre un hyphe archéologique ou récent. Telles sont les raisons, en plus des contraintes de temps liées à la thèse, qui ont fait que cette thématique n'a pas été abordée ici plus en détail.

Par ailleurs, d'après d'autres observations sur le bois actuel ainsi que sur des charbons de bois archéologiques, il est possible d'observer d'éventuelles traces de parasites de type suceur de sucs se fixant au bois vivant ainsi que d'autres cicatrices (coup de bec d'un oiseau venant chercher une larve pas exemple) (FIGURE 299). Malgré ces accidents, l'arbre continue alors sa croissance en essayant de contrecarrer l'infestation en « se réparant ». Il en résulte notamment une déformation des cernes de croissance créée après l'attaque. Toutefois, cette piste reste à confirmer par de futures observations, d'autant plus qu'il s'agit d'une toute autre faune. Il serait intéressant d'approfondir ce sujet et de voir quelles informations ces données apporteraient.

[724] À Padova, Mobilité sortante (CPER) projet : RAVAGEURS, *cf.* Chapitre II, page 108.
[725] Genre *Calymmaderus*, *Ernobius mollis*, divers scolytes et charançons récoltés sur du bois sur pied et sur du bois mort, pas encore identifiés.

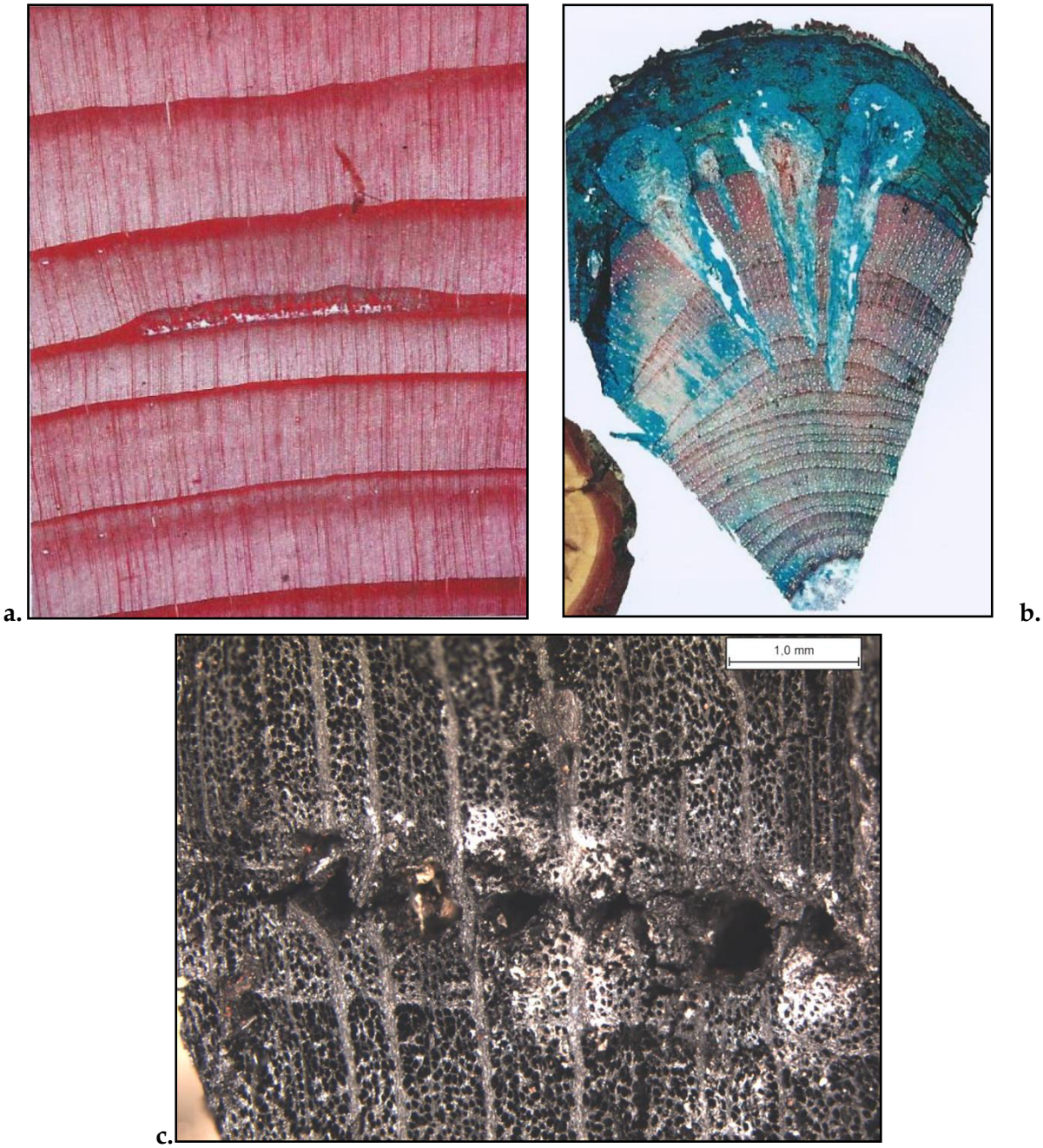


FIGURE299 - a. Lame de *Pinus sylvestris* présentant une cicatrice (bec oiseau probablement), observation réalisée durant le Wood anatomy course 2014 (Suisse), lame mince réalisée par H. GÄRTNER et F. H. SCHWEINGRÜBER. **b.** Lame de *Viscum album* avec écorce et infestation par des parasites, observation durant le Wood anatomy course 2014 (Suisse), lame mince réalisée par F. H. SCHWEINGRÜBER **c.** Succession de six galeries alignées, indéterminées mais faisant penser à des traces de parasites, coupe transversale de hêtre, Camelin, US 3775 CH 15.

Pour les bois pour lesquels aucune trace d'insectes n'a été détectée, il serait intéressant de mener des analyses chimiques pour caractériser d'éventuelles des traces de protections.

Une autre perspective concerne les problèmes d'échantillonnage et de conditionnement sur le terrain et en laboratoire, liés à la rencontre de vestiges anthraco-xylo-logiques dont l'intérêt ou les modes de prélèvements et de conditionnement sont parfois méconnus. Des interventions dans des séminaires, ou session de formations seraient à même de venir sensibiliser les acteurs actuels et futurs de l'archéologie à une meilleure compréhension et

appréhension des vestiges avec lesquels ils sont confrontés. En effet, sur un site préventif tout comme sur une campagne programmée, il est possible d'établir une stratégie comme elle a été établie et adoptée sur un certain nombre de sites présentés dans ce travail. Sa mise en place dépend toutefois du personnel de la fouille, du contexte archéologique, des contraintes budgétaires et des problématiques scientifiques menées par le responsable d'opération. De ce point de vue, le site des Jacobins constitue un malheureux exemple.

Pour terminer, ces premières analyses sur les insectes xylophages ont fournis des résultats intéressants et prometteurs élargissant à diverses perspectives tout autres que celles initialement prévues et aidant à l'interprétation, à la confirmation ou l'infirmation des hypothèses archéologiques posées.

Ce sujet avec son lot de qualités et de limites, pourrait constituer, à son échelle, une nouvelle thématique de recherche pour l'archéobotanique ou plus largement, pour la bioarchéologie où beaucoup reste encore à faire et à explorer.

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX, FICHES ET PLANCHES

FIGURES

Les figures sont notées de 1 à x dans la continuité du texte et des annexes en fonction de leur appel dans le volume texte. L'exception concerne le volume III dont les illustrations et les fiches des espèces sont à considérées à part des volumes I et II.

FIGURE 1 - Dieu Esus élaguant un arbre avec une serpe ou une hache (?) ©Musée de Cluny, Paris - Pilier des Nautes 4 - N° Inventaire : Cl. 1461 et Cl. 18602 à 18605.

FIGURE 2 - Lithographie réalisée en 1844 (galerie Napoléon) du bas-relief antique dit « des dendrophores » représentant des hommes soulevant une grume à l'aide de cordes, découvert à Bordeaux en 1838 et actuellement conservé au Musée d'Aquitaine

FIGURE 3 - Bas-relief daté du VIIIe s. av. J.-C., provenant du palais de Sargon II, montrant des bateaux phéniciens transportant des grumes de bois, apparemment du cèdre déjà équarri depuis les côtes libanaises ; Dur-Sharrukin, Khorsabad, Iraq ; conservé au musée du Louvre.

FIGURE 4 - Peinture murale illustrant deux personnes sciant du bois avec une scie de long. Pompéi, Région VI. 7. 8. Musée National d'Archéologie, Naples. ©SAILKO 2008.

FIGURE 5 - Schéma simplifié des débitages du bois attestés pour l'époque romaine.

FIGURE 6 - Artémis d'Éphèse et détails de l'abeille sur le fourreau, conservée au musée d'Archéologie Nationale de Naples, IIe s. av. J.-C., © 2015. Photo: Ilya SHURYGIN (http://ancientrome.ru/art/artworken/img.htm?id=7388).

FIGURE 7 - a. Monnaie d'Ionie avec une abeille représentée. **b.** Héliobole républicaine avec un coléoptère (cl. tirée de FEUGÈRE, PY 2011, p. 173).

FIGURE 8 - Détails de la mosaïque de Silène, trouvée et conservée à El Jem avec la sauterelle, cl. R. RÊVE.

FIGURE 9 - Méthodes de stockage du bois gorgé d'eau. **a.** Dans un bac rempli d'eau claire. **b.** Dans un sachet zip sous vide. **c.** Retournement à la main d'une grande pièce (sablière) pour photographie et avant échantillonnage dendrochronologique. **d.** Échantillon sous cellophane.

FIGURE 10 - Exemple de champignons sur un bois gorgé d'eau (traces blanchâtres), cl. Équipe de Rezé.

FIGURE 11 - Dégâts causé au bois gorgé d'eau archéologique entre deux campagnes de fouille. **a.** Extrémité supérieure rognée, séchée et craquelée. **b.** Traces d'infestation actuelle sur la partie du bois non protégée. Site de Rezé (44).

FIGURE 12 - Exemple d'un prélèvement carbonisé conditionné avant l'analyse sur un support rigide et cellophané.

FIGURE 13 - Exemples d'individus actuels. **a.** Un acarien non carbonisé dans un vaisseau d'échantillon de chêne carbonisé, Camelin (83). **b.** Formation fongique (spores) non carbonisée sur charbon de bois, col d'Adon (06). Cl. L. JOANNY, CMEBA.

FIGURE 14 - Exemples d'individus taphonomiques. **a.** Un arthropode non carbonisé de type cloporte recouvert d'hyphes. **b.** Une mue non carbonisée d'arthropode de type *Scolopendria* dans une galerie. Bois carbonisé, col d'Adon (06).

FIGURE 15 - Exemples de traces d'insectes archéologiques. **a.** Scolytide prisonnier de sa galerie, bois gorgé d'eau, Rezé (44). **b.** Coupe transversale de hêtre parsemée de galeries remplies de vermoulures, bois carbonisé, ilôt Camelin (83).

FIGURE 16 - Schéma explicatif résumant les différents types d'infestation des bois archéologiques.

FIGURE 17 - Galeries qui se recoupent les unes les autres, une douzaine de galeries visibles sur 2 cm², bois carbonisé, îlot Camelin (83).

FIGURE 18 - Galeries de type Scolytidés. Galerie verticale correspond à la galerie de ponte de la femelle adulte et les autres galeries "perpendiculaires" correspondent aux galeries larvaires qui ne se recoupent pas, écorce de mélèze actuel, Suisse.

FIGURE 19 - Station de travail au CICRP équipée d'une loupe binoculaire, reliée à un analyseur d'images.

FIGURE 20 - Exemples de mesures de galeries sur charbon de bois (gauche) et sur bois gorgé d'eau (droite), sur un plan transversal et sur un plan longitudinale tangentiel, sites : îlot Camelin (83) et Rezé (44).

FIGURE 21 - Observation de galeries carbonisées.

FIGURE 22 - Mesures de vermoulure carbonisée et gorgée d'eau (largeur et longueur) ; à gauche Camelin (83) et à droite Rezé (44).
FIGURE 23 - Exemples d'hyphes de champignon accompagnant de la vermoulure : sous forme de petits amas (**a.**) ou de filaments (**b.**), cl. L. JOANNY, CMEBA.
FIGURE 22 - Exemple d'élevage au CICRP, bois placé dans une boîte en plastique ou en verre (vivarium), avec un apport d'humidité. **a.** Larves de lycte sur du chêne, débuté en 2015, origine : don d'A. CRIVELLARO, woodshop, Italie. **b.** Termitière (*Kalotermes flavicollis*) sur de la vigne, débuté en 2017, origine : F. FOHRER, France.
FIGURE 25 - Échantillons de bois récoltés en forêt. **a.** bois infesté sur pied, pin laricio, Gif-sur-Yvette (91). **b.** bois mort, pin pignon, abattu en forêt, Var (83).
FIGURE 26 - Vermoulure de *Xestobium rufovilosum*, unités de forme lenticulaire.
FIGURE 27 – Lames minces de chêne infesté par du lycte dont les galeries (g) ont tendance à cibler le bois de printemps, réal. en collaboration avec A. CRIVELLARO.
FIGURE 28 - Four à moufle du laboratoire de Rennes 1.
FIGURE 29 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons d'*Anobium punctatum*. **a.** Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1). **c.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A2).
FIGURE 30 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons d'*Oligomerus ptilinoides*. **a.** Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1). **c.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A2).
FIGURE 31 - Résultats généraux des carbonisations expérimentales des échantillons de *Nicobium castaneum*. **a.** Moyennes des mesures des vermoulures. **b.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées (A1). **c.** Répartition des vermoulures carbonisées et non carbonisées
FIGURE 32 - Plan général de Fréjus avec implantation de la ville antique et localisation de l'îlot Camelin (SAPVF).
FIGURE 33 - Vue aérienne à basse altitude de la fouille de l'îlot Camelin (vues-aeriennes.com/SAPVF).
FIGURE 34 - Relevé de l'îlot Camelin et localisation des zones de fouille (DAO F. OSENDA, SAPVF).
FIGURE 35 - Plans phasés (a à h) de l'îlot Camelin avec relevé des structures découvertes (SAPVF).
FIGURE 36 - Exemples de sols avec inclusions de marbre mis au jour dans la maison 1 (phase 3) (SAPVF).
FIGURE 37 - Localisation de l'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique) dans l'estuaire de la Loire (réal. R. ARTHUIS, M. MONTEIL et J. MOUCHARD), tirée de GUITTON *ET AL*. 2016.
FIGURE 38 - Plan général de l'agglomération de Rezé dans le courant du IIe s. de notre ère, avec la localisation du quartier St-Lupien (réal. L. PIRAULT, M. MONTEIL, réactualisation J. MOUCHARD), tirée de GUITTON *ET AL*. 2016.
FIGURE 39 - Rezé, St-Lupien, zone 4, secteur 14-bas/Est, vue depuis le nord. Exemple d'une série de pointes de micro-pieux, fouillée au sein de la séquence fluviatile US 40775 en 2014 (cl. équipe de fouille, 2014).
FIGURE 40 - a. Vue générale d'un caisson en bois et pierre (Zone 4, Sect. 15), cl. Équipe de fouille 2014. **b.** Détails et démontage (étude tracéologique sur les sablières basses d'un caisson (CAI 12), cl. X. FAVREAU, 2014.
FIGURE 41 - Plan général des fouilles et prospections de Rezé Saint-Lupien. En vert, la zone du prieuré, tiré de GUITTON *ET AL*. 2015.
FIGURE 42 - Carte de localisation du site du col d'Adon au sein des Alpes-Maritimes (fond de carte V. DUMAS, CCJ, CNRS).
FIGURE 43 - Carte IGN avec localisation du site du col d'Adon. Ech. : 1/20e.
FIGURE 44 - Topographie du col d'Adon, modèle numérique de terrain avec courbes isométriques (par V. DUMAS, CCJ, CNRS). Localisation du site étudié (flèche noire) et positionnement par rapport au col (flèches rouges).
FIGURE 45 - Carte de végétation de l'est des Alpes-Maritimes avec localisation du site du col d'Adon (source OZENDA 1956).
FIGURE 46 - a. Vue des terrasses modernes et du Mont Mal, côté nord du col d'Adon. **b.** Versant sud faisant face au col (Charamel), composé en grande partie de pins. Vue depuis le col.
FIGURE 47 - Vue du moulage de l'autel antique dans un mur de terrasse actuelle, et inscription latine de l'autel, clichés R. GOLOSETTI.
FIGURE 48 - Plan de répartition des sondages sur le col d'Adon en 2010 (V. DUMAS, CCJ, CNRS).
FIGURE 49 - a. Vue zénithale de l'espace 3 et du niveau de circulation (US 4073) avec les vases de stockage (DL 4028 et DL 4043) *in situ* (Cl. V. DUMAS, CCJ, CNRS). **b.** *Dolium* DL 4028 (Cl. P. GROSCAUX, CCJ, CNRS).

FIGURE 50 - Localisation de la structure FY 4089. Cliché depuis le sud (R. GOLOSETTI) et relevé planimétrique (V. DUMAS CCJ, CNRS).
FIGURE 51 - Plan général des vestiges de la zone 4 (V. DUMAS, CCJ, CNRS).
FIGURE 52 - Carte IGN avec localisation du site gallo-romain du Fâ.
FIGURE 53 - Vue générale du site du Fâ à Barzan (extrait du site du Conseil Général).
FIGURE 54 - Vue aérienne du bâtiment 1 du quartier des entrepôts, cliché J. DASSIÉ.
FIGURE 55 - Plan général des entrepôts et localisation de la cave 57, tiré de BOUET *et al.* 2004.
FIGURE 56 - Plan général de Fréjus avec implantation de la ville antique et localisation du site de l'école des Poiriers (SAPVF).
FIGURE 57 - Zones de fouille de l'école des Poiriers, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.
FIGURE 58 - Plans phasés de la fouille archéologique des Poiriers avec relevé des structures découvertes (SAPVF). **a.** Phase 2b ; **b.** Phase 3a.
FIGURE 59 - Plan de localisation de *Cassinomagus* dans la cité des Lémovices © PCR Cassinomagus.
FIGURE 60 - Vue générale des fouilles de 2015, cliché Th. DUQUEROIX, PCR *Cassinomagus*.
FIGURE 61 - Plan de la phase 3 dans l'emprise des fouilles 2011-2012 et 2015, tirée du RFO 2015, DAO M. GRALL et G. ROCQUE, PCR *Cassinomagus*.
FIGURE 62 - Plan IGN de localisation de la zone de fouille, Les Jacobins, ©INRAP.
FIGURE 63 - Implantation de la fouille du couvent des Jacobins sur le cadastre, tirée du RFO 2016, vol.1, ©INRAP.
FIGURE 64 - Plan d'organisation générale du quartier antique, tirée du RFO 2016, Vol. 2, 202. © Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 65 - Plan schématique du site : **a**. phase 2 ; **b** : phase 3 ; **c** : phase 4 ; **d** : phase 5 ; tirées du RFO 2016, Vol. 3 © Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 66 - Localisation du site de « Maison-Blanche » à Cébazat, tirée de DELHOOFS ET *AL.* 2015/Plan IGN.
FIGURE 67 - Plan général du site de « Maison Blanche » à Cébazat, tirée de DELHOOFS *ET AL.* 2015.
FIGURE 68 - Plan IGN avec localisation de la fouille du théâtre de Châteaubleau.
FIGURE 69 - Plan général du théâtre avec localisation du four à chaux étudié (en rouge), tirée de PILON *ET AL.* 2015.
FIGURE 70 - Carte de localisation des sites archéologiques étudiés et correspondance des numéros attribués pour les sites archéologiques. Source carte Daniel DALET/ DAO ajouts M. TORITI.
FIGURE 71 - Chronologie générale des sites étudiés, avec en rouge, les phases auxquelles appartiennent les structures ou objets analysés. DAO M. TORITI.
FIGURE 72 - Plan général des entrepôts et localisation de la cave 57, tiré de BOUET *ET AL.* 2004.
FIGURE 73 - Photo zénithale et plan de la cave 57, cl. A. BOUET.
FIGURE 74 - Plan du carroyage de la structure 40552 et sélection (en rouge) des prélèvements analysés.
FIGURE 75 - Proportions des différents ravageurs du bois, US 40552.
FIGURE 76 - Répartition des proportions de fragments de bois infestés par des hyphes.
FIGURE 77 - Répartition de présence ou absence de la pourriture cubique.
FIGURE 78 - Répartition de présence ou absence de galerie d'insecte xylophage.
FIGURE 79 – Rappel du plan d'organisation générale du quartier antique, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 202. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 80 - Façade nord de l'îlot I lors de la phase III, unités 10 et 11, tiré de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 317. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 81 - Vestiges de l'unité 11 incendié (10784), tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 322. ©Gwénaël HERVIAUX.
FIGURE 82 - Restes carbonisées de la sablière basse 11016, tiré de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 320. ©Rozenn BATTAIS.
FIGURE 83 – a. Plan des vestiges en façade nord de l'îlot I, unité 12, phase V. En encadré rouge : élément en bois prélevé. **b.** Vue de la structure en cours de fouille, tirés de LE CLOIREC 2016, vol. 2, 364. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 84 - Restes d'une sablière basse carbonisée, 10466, sur l'arase du mur 11178, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 355. ©Gwénaël HERVIAUX.
FIGURE 85 - Une partie d'une paroi en bois carbonisée piégée dans le fossé bordant le *decumanus*, phase III, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 452. ©INRAP.
FIGURE 86 - Couche d'incendie 70435 recouvrant les vestiges de la phase III, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 575. ©Rozenn BATTAIS.
FIGURE 87 - Plan des vestiges dans l'angle nord-ouest de l'îlot III, lors de la phase III. En rouge : localisation de l'US 20406. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.

FIGURE 88 - Plan des vestiges de l'angle nord-ouest de l'îlot II et localisation de l'US 10706, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 465. ©Stéphane JEAN, Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 89 - Vue de la partie du plancher 10706 conservée dans l'angle de la pièce, tirée de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 468. ©Tiphaine ROBIN.
FIGURE 90 - Niveau incendié 70760 provenant du plafond décoré de l'unité 45. Effondré sur le sol en béton 70759, tiré de LE CLOIREC 2016, Vol. 2, 614. ©Gaétan LE CLOIREC.
FIGURE 91 - Vue générale d'une mue de *Scolopendria*, US 10341.
FIGURE 92 - Coupe transversale de *Quercus* F. C., avec localisation des galeries ciblées sur les zones du bois initial. *Cf. Lyctus*.
FIGURE 93 - **a.** Coupe transversale de *Quercus* F. C. avec galeries ciblées sur les zones du bois initial. *Cf. Lyctus*. **b.** Coupe tangentielle avec galerie de 3,8 mm et ses vermoulures, indéterminées.
FIGURE 94 - **a.** Coupe transversale de *Fagus sylvatica* avec une galerie ovale de type Cerambicydae. **b.** Coupe tangentielle avec réseau de galeries de type *Cossoninae*.
FIGURE 953 - Vue générale du site depuis le haut d'une terrasse moderne au nord, localisation des espaces, cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 96 - Plan des vestiges carbonisés prélevés, DAO V. DUMAS.
FIGURE 97 - Vue depuis le nord du niveau 4032, cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 98 - Vue depuis l'est de l'ensemble de l'espace 5. Foyer en céramique visible au premier plan et à l'arrière plan : l'épaisseur du niveau de destruction. Cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 99 - Linteau carbonisé 4070, cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 100 - Niveau 4090 en cours de fouille. La limite ouest est bien visible. cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 101 - Exemples de quelques échantillons carbonisés prélevés issus de l'US 4090, cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 102 - Vue zénithale de la structure 4094, cl. V. DUMAS.
FIGURE 103 - Vue du niveau 4095, au pied du foyer en céramique FY 4089, cl. R. GOLOSETTI.
FIGURE 104 - Diagramme représentant les proportions de l'ensemble des taxons identifiés à l'analyse.
FIGURE 105 - Plan général des vestiges : représentation des essences identifiées, DAO V. DUMAS.
FIGURE 106 - Exemples d'arthropodes observés sur les charbons de bois du col d'Adon, cl. prit au microscope à réflexion.
FIGURE 107 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4002.
FIGURE 4 - Répartition et effectif des galeries indéterminées et des galeries d'*A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4002.
FIGURE 109 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4021.
FIGURE 110 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4030.
FIGURE 5 - Répartition et effectif des galeries indéterminées ou d'*A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4030.
FIGURE 112 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4032.
FIGURE 113 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4048.
FIGURE 114 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4051.
FIGURE 6 - Champignon indéterminé présent sur l'US 4070.
FIGURE 116 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4090.
FIGURE 117 - **a.** Hyphe de champignon de type pourriture brune, d'après de MOSKA-DEL-HOYO *et al.* 2010. **b.** Photo microscope d'hyphe de champignon potentiellement de type pourriture brune, US 4090. **c.** Hyphe de champignon de type pourriture molle, tirée de MOSKA-DEL-HOYO *et al.* 2010. **d.** Photo au microscope d'hyphes de champignon potentiellement de type pourriture molle, US 4090.
FIGURE 7 - Répartition et effectif des galeries indéterminées (bleu), d'*A. punctatum* (rouge), de *X. rufovilosum* (vert) ou de Cerambicydae (violet), selon les pièces de bois, US 4090.
FIGURE 8 - Exemples de galeries et de vermoulures observées sur les éléments de l'US 4090. En haut : *A. punctatum*. Au centre : Cerambicydae. En bas : vermoulures carbonisées de *X. rufovilosum*.
FIGURE 9 - Répartition des galeries sur l'ensemble de la structure 4090.
FIGURE 121 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4094.
FIGURE 122 - Répartition et effectif des galeries indéterminées ou *A. punctatum*, selon les pièces de bois, US 4094.
FIGURE 123 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 4095.
FIGURE 124 - Proportions des essences ligneuses utilisées dans la construction.
FIGURE 125 - Proportions des essences ligneuses analysées dans le carroyage du niveau de circulation.

FIGURE 126 - Plan général des fouilles concernées par l'étude, tiré de GUITTON *ET AL.* 2014, 89.
FIGURE 127 - **a.** Vue aérienne de la fouille de 2015 et localisation des secteurs, cl. KAP ARCHÉO ; tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, 30. **b.** Plan des secteurs de fouille réalisés depuis 2013 : secteurs 14 à 18, réal. J. MOUCHARD, 2016, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015.
FIGURE 128 - **a.** Vue d'un caisson en bois et en pierre en cours de dégagement (CAI 9), tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, vol. 1, 46. **b.** Plan du caisson CAI 9, secteur 14, réal. J. MOUCHARD et M. YACGER, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015, vol. 1, 7.
FIGURE 129 - Plan de répartition des pieux pour l'ensemble des secteurs 14, 15 et 16, avec superposition des caissons postérieurs (en grisé). D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 130 - Plan du CAI 9 et de son extension occidentale CAI 17, réal M. YACGER, 2016, tiré de GUITTON *ET AL.* 2015.
FIGURE 131 - Répartition des essences, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 132 - Répartition des pieux en chêne, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 10 - Répartition des pieux en aulne, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 134 - Répartition des pieux en hêtre, secteur 14, 15 et 16. D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 135 - Diamètres minimums des pieux.
FIGURE 136 - Nombre de pieux en fonction de leur débitage.
FIGURE 137 - Plan du CAI 9 et de son armature en bois analysée directement sur le terrain, réal. J. MOUCHARD, M. YACGER, tirée de GUITTON *ET AL.* 2015, 59.
FIGURE 138 - Élévation nord en bois du caisson 9 avec les sablières basses et les poteaux conservés, réal. J. MOUCHARD, M. YACGER, tirée de GUITTON *ET AL.* 2015, 53.
FIGURE 139 - **a.** Galeries peu profondes et au sens chaotique, 44340 bis (**315**). **b.** Vue d'un fragment de coquillage appartenant à un vers aquatique xylophage actuel, 40907.20 (**142**).
FIGURE 140 - Proportion des essences infestées.
FIGURE 141 - Plan de répartition des pieux infestés (rouge) parmi l'ensemble des pieux analysés, D.A.O. M. YACGER, X. FAVREAU, J. MOUCHARD ; ajouts d'informations M. TORITI.
FIGURE 142 - Pieux infestés du secteur 16 **a**. Vue des galeries en tangentielle. **b**. Zoom sur la vermoulure gorgée d'eau. **c.** Dessin de répartition des galeries sur l'ensemble de la pièce, DAO M. TORITI. **d.** Galeries ovales de type cérambycidé obstruées par la vase.
FIGURE 143 - Pieu 44489.12 (**341**), galerie indéterminée.
FIGURE 144 - Pieu 44489.41 (**363**), galeries sous corticale de cérambycidé, cl. L. GANTIER.
FIGURE 145 - Pieu en orme 44544.36 (**387**), galeries de la famille des scolytes.
FIGURE 146 - Pieu en frêne 44544.11 (**367**). **a.** galeries de la famille des scolytes : nid avec galeries maternelle et larvaires ; **b.** détails galeries larvaires. **c.** Vue d'ensemble du pieu, cl. L. GANTIER.
FIGURE 147 - Pieu en chêne 44546.59 (**475**), galerie ovale de la famille des capricornes.
FIGURE 148 - Pieu 44578.25 (**505**) avec galeries (**a.**) et vermoulures fusiforme de type *Anobium punctatum* (**b.**).
FIGURE 149 - Pieu en chêne 44578.8 (**488**) avec des galeries de type capricorne, cl. L. GANTIER.
FIGURE 15011 - Vue du cambium du pieu en chêne 40543. Galeries visibles et individualisées mesurées.
FIGURE 151 - Pieux 40680.1 (**5**) et 40680.15 (**18**), exemple de galerie ovale de 2 mm de diamètre.
FIGURE 152 - Exemples de galeries indéterminées provenant de l'US 40680. **a.** Galeries irrégulière en transversale. **b.** Galerie en longitudinale sans vermoulure. **c.** Galerie en transversale avec vermoulure indéterminable.
FIGURE 153 - **a.** Vue de la galerie et mesures, 40814.7. **b.** Vue des galeries et mesures, 40814.8.
FIGURE 154 - **a**. Vue de l'ensemble de la pièce 40861.1 et localisation des galeries (cl. L. GANTIER). **b**. Zoom sur les galeries ciblant le BI en coupe transversale.
FIGURE 155 - **a**. Vue des galeries situées dans le cambium, en tangentielle. **b**. Vue d'un insecte coincé dans une galerie et vermoulure associée. **c.** Exemple d'un autre insecte bloqué dans une galerie, visible du dessus.
FIGURE 156 - Dessin de répartition des galeries ovales du pieu 40901.12 (**134**) sur l'ensemble de la pièce et mise en corrélation avec l'échantillon photographié, cl. L. GANTIER, DAO M. TORITI).
FIGURE 157 - Vue de la galerie ovale de 6 mm, Pieu 40901.16 (**138**).

FIGURE 158 - Vue de la galerie indéterminée, échantillon 44409.1 (**329**).
FIGURE 159 - Vue des galeries ovale, parcourant l'aulne 43113 (**201**) en tangentielle.
FIGURE 160 - Échantillon de la contre-fiche 44638 avec galeries de type *Cerambyx cerdo.*
FIGURE 161 - Plan de répartition des pieux infestés au sein du secteur 15.
FIGURE 162 - Schéma de poteaux et divers revêtements - **a.** Écorce ; **b.** Revêtement végétal ; **c. e. et f.** Revêtement métallique ; **d.** enduit ; **g. h. i.** et **j.** Ciment, tuyau et poterie, tirée de Ministère de l'agriculture 1933, p. 91.
FIGURE 1263 - Plan général des vestiges pour la phase 2b, SAPVF.
FIGURE 164 - **a.** Localisation de la structure. **b.** US 1006 avec localisation des éléments individualisés, cl. SAPVF. **c.** Schéma de la structure 1006.
FIGURE 165 - **a.** Localisation de l'US 1078. **b.** US 1078 avec localisation des éléments individualisés, cl. SAPVF, 2013. **c.** Schéma de l'US 1078, D.A.O. F. OZENDA, ajouts M. TORITI, 2014.
FIGURE 166 - **a.** Localisation de l'US 3007. **b.** Structure 3007, cl. M. TORITI, secteur B, 2013. Plans de la structure 3007 avec localisation des éléments en bois carbonisés individualisés et clous. **c.** Niveau 1 : CH 1 à CH 6 correspondants aux pièces de bois supérieures. **d.** Niveau 2 : CH 7 à CH 10 correspondants au soubassement en bois de la structure.
FIGURE 167 - **a.** Localisation de l'US 3007. **b.** Schéma de l'ensemble 3229 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous et objets en métal.
FIGURE 168 - **a.** Localisation de l'US 3329. **b.** Structure carbonisée 3329 en cours de fouille, située à proximité de la meule ML 3252, cl. SAPVF.
FIGURE 169 - **a.** Localisation de l'US 3495. **b.** Ensemble de 3495 vue de l'ouest ; détail d'une partie de bois carbonisé surcreusée ; cl. SAPVF. **c.** Schéma de l'ensemble 3495 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous.
FIGURE 170 - **a.** Localisation de l'US 3527. **b.** Structure carbonisée 3527 en cours de fouille, cl. SAPVF. **c.** Schéma de l'ensemble 3527 avec répartition des éléments en bois carbonisés prélevés, clous.
FIGURE 171 - **a.** Localisation de l'US 3585. **b.** Niveau carbonisé 3585 et la paroi en brique de terre crue 3600. Vue d'ensemble du secteur depuis le nord ; cl. SAPVF.
FIGURE 172 - Ensemble du secteur U en cours de fouille avec vue sur le niveau de démolition 3670 et les éléments en bois carbonisé 3766, cl. SAPVF.
FIGURE 17313 - **a.** Localisation de la structure 3775. **b.** Vue générale de la structure en cours de fouille, cl. SAPVF. **c.** Schéma de localisation des pièces prélevées, éléments de tissus, clous. Dessin SAPVF, ajouts M. TORITI, 2014.
FIGURE 174 - Parois 3600 et élément en bois carbonisé sur 3969, cl. SAPVF.
FIGURE 175 - Graphique en bâton des proportions des essences de bois ouvragé carbonisé.
FIGURE 176 - Reste d'arthropode (mue) sur charbon de hêtre (*Fagus sylvatica*), structure 3775.
FIGURE 177 - Galerie d'insecte xylophage sur du hêtre (*Fagus sylvatica*), structure 3775, cl. CMEBA.
FIGURE 178 - Hyphe de champignon, filaments visibles sur la surface du charbon de bois, US 3007.
FIGURE 179 - Déformation fongique ou « craquement du bois » de type pourriture cubique, US 3775.
FIGURE 180 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 1006, 2014.
FIGURE 181 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 1078, 2014.
FIGURE 182 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US1078-CH8-N°2 : *Abies alba* Mill. 29 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.
FIGURE 18314 - Répartition et effectif des galeries selon les pièces de bois, US 1078.
FIGURE 184 - Schéma de répartition par proportion de présence des galeries sur les différents éléments en bois composant l'US 1078, DAO. M. TORITI.
FIGURE 185 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3007.
FIGURE 186 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées, DAO M. TORITI. **a.** Niveau supérieur (CH 1 à 6). **b**. Niveau inférieur (CH 7 à 10).
FIGURE 187 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US 3007-CH 6-N°1 et N°6: *Abies alba* Mill. Total : 28 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.
FIGURE 188 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3007.
FIGURE 189 - Schéma de répartition par proportion de présence des galeries sur les différents éléments en bois composant l'US 3007, DAO. M. TORITI.

FIGURE 190 - **a.** Exemples de galeries typiques de *Cossoninae*, 3007 CH 1. **b.** Vermoulure hétérogène issue des galeries de type *Cossoninae*. **c.** Vermoulures fusiformes contenues dans une galerie circulaire de 3007 CH 5. Cl. M. TORITI.

FIGURE 191 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points : référentiel ; et projection des vermoulures fusiformes observées sur 3007 CH 5 (en bleu).

FIGURE 192 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US 3021-N°13 et N°53 : *Quercus* à feuillage caduc. Total : 29 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 193 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3495.

FIGURE 19415 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3495, DAO M. TORITI.

FIGURE 195 - Répartition et effectif des galeries selon les pièces de bois de la structure 3495.

FIGURE 16 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3527.

FIGURE 197 - Schémas de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3527, DAO M. TORITI.

FIGURE 198 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US3527-CH3-N°3 : *Pinus halepensis*. Total : 15 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 199 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US3527-CH3-N°7 et N°9 : *Pinus pinea*. Total : 18 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 200 - Courbe dendrochronologique flottante : Moyenne des échantillons CAM-US3527-CH3-N°2 et N°33 : *Pinus pinea*. Total : 21 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 201 - Courbe dendrochronologique flottante de l'échantillon CAM-US3527-CH3-N°34 : *Pinus pinea*. Total : 14 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 202 - Répartition et effectifs des galeries selon les pièces de bois de la structure 3527.

FIGURE 203 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3585.

FIGURE 204 - Schéma de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3766, DAO M. TORITI.

FIGURE 205 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3766.

FIGURE 206 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3766.

FIGURE 207 - Représentation des vermoulures de type fusiforme, en nuage de points : référentiel ; et projection des vermoulures fusiformes observées sur 3766 (en bleu). **a.** Mesures des vermoulures carbonisées. **b.** Mesures corrigées.

FIGURE 17 - Fragments de cordage et de tissus carbonisés retrouvé sur CH 23. Cl. Christine DURAND, CCJ.

FIGURE 209 - Fragments de pain carbonisé recouvert de tissus sur une face. Cl. Christine DURAND, CCJ.

FIGURE 210 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de la structure carbonisée 3775.

FIGURE 211 - Schéma de répartition des essences ligneuses identifiées pour la structure 3775, DAO M. TORITI.

FIGURE 212 - Courbe dendrochronologique : Moyenne des échantillons CAM-US3775-CH23-N°1 et N°102 : *Fagus sylvatica* L. Total : 42 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 213 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°108 : *Fagus sylvatica* L. Total : 24 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 214 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°109 : *Fagus sylvatica* L. Total : 23 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 215 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°1bis : *Fagus sylvatica* L. Total : 20 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 216 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°2 : *Fagus sylvatica* L. Total : 24 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI**.**

FIGURE 217 - Courbe dendrochronologique CAM-US3775-CH23-N°7 : *Fagus sylvatica.* Total : 21 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 18 - Courbe dendrochronologique : Moyenne des échantillons CAM-US3775-CH23-N°111 et N°112 : *Quercus suber* L. Total : 16 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 219 - Courbe CAM-US3775-CH23-N°19 : *Pinus halepensis*. Total : 26 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 220 - Courbe CAM-US3775-CH23-N°8 : *Pinus halepensis*. Total : 22 cernes. Mesures : M. TORITI / DAO : L. SHINDO - M. TORITI.

FIGURE 221 - Diagramme en bâton de répartition des galeries selon les pièces de bois, US 3775.

FIGURE 222 - Schéma de répartition des taux de galeries (en %) par éléments en bois et indication de présence de traces d'un champignon de type pourriture cubique (par un x à côté du numéro de l'échantillon), pour la structure 3775, DAO M. TORITI.

FIGURE 223 - Proportion en % des essences ligneuses infestées au sein de la structure 3775.
FIGURE 224 - Diamètre des galeries en mm, selon l'essence ligneuse.
FIGURE 225 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points, observées selon l'essence ligneuse, US 3775.
FIGURE 226 - Représentation des vermoulures de type fusiformes, en nuage de points, observées selon l'essence ligneuse, US 3775 ; Comparaison avec le référentiel des vermoulures fusiformes.
FIGURE 227 - Graines observées à l'intérieur d'une galerie indéterminée, CH 24.
FIGURE 228 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein des bois architecturaux.
FIGURE 229 - Vue de l'US 1006, cl. SAPVF.
FIGURE 230 - Schéma de l'US 1078.
FIGURE 231 - Proposition de restitution du mur 3600 et 3601. **a.** Restitution schématique de face avec visualisation des briques de terre crue séparant les poteaux en pin. **b.** Écorché général de l'ensemble de la structure. DAO M. TORITI, 2017.
FIGURE 232 - Vue depuis le sud des deux trous de poteau conservé (P1 à gauche et P2 au centre) et exemple d'une brique de terre crue et son accroche d'enduit, cl. SAPVF.
FIGURE 233 - Vue depuis le sud de l'ensemble du secteur, cl. SAPVF.
FIGURE 234 - Proposition de restitution de l'effondrement du mur 3600-3601 par étape (fracture du mur, glissement du deuxième niveau de brique et affaissement des enduits, éboulement vers le sud (la pente) de la hauteur). DAO. M. TORITI.
FIGURE 235 - Schéma regroupant les structures 3495 et 3527, l'alignement des pièces et les essences ligneuses en présence. DAO. M. TORITI.
FIGURE 236 - Vue de la structure 3495-3527 depuis le nord, cl. SAPVF.
FIGURE 237 - Vue des pièces CH 7 à 10, cl. SAPVF.
FIGURE 238 - **a.** Hypothèse de restitution de la pièce de stockage, DAO M. TORITI. **b.** Proposition de restitution du plancher et du décor dans le cadre de l'exposition «Habiter *Forum Iulii*», octobre-novembre 2017, ©EDIKOM.
FIGURE 239 - Vue de la meule 3252 et de la structure carbonisée 3329-3248, cl. SAPVF.
FIGURE 240 - Plan du secteur de l'US 3229, sens de la pente du sol bétonné 3008, DAO SAPVF.
FIGURE 241 - Vue du caniveau CN 3812, après la fouille du plancher 3775, secteur U cl. SAPVF.
FIGURE 242 - Succession des infestations du plancher 3775.
FIGURE 243 - Proportion des bois infestés VS bois sains selon les différents sites étudiés.
FIGURE 244 - Proportion et variété des espèces d'insectes xylophages identifiés selon les sites archéologiques étudiés.
FIGURE 245 - Bois étudiés du site d'Abbaretz. **a.** Vanne de conduit en chêne (956.4.1). **b.** Coin en châtaignier (956.4.2).
FIGURE 246 - Crapaudine en fer (930.2.5009).
FIGURE 247 - Éléments de canalisation en métal.
FIGURE 248 - Lot de fragments. **a.** 930.2.4994. **b.** 930.2.4995.
FIGURE 249 - Seau 930.2.4759, conservé au musée Dobrée.
FIGURE 250 - Seau 930.2.4759, détails de la douelle n°6.
FIGURE 251 - Exemples de vermoulures fusiformes typiques d'*A. punctatum* récoltés sur les bois gorgés d'eau de la Porte-Allain (cl. L. JOANNY, CMEBA).
FIGURE 252 - Exemples de vermoulures récentes fusiformes d'*A. punctatum*, observées sur les bois d'Alésia.
FIGURE 253 - Plan général du bûcher funéraire 2426, ÉVEHA.
FIGURE 254 - **a.** La tranchée TR 61146 après la fouille de l'US 61138. **b.** Cette dernière en place.
FIGURE 255 - Proportion des infestations selon l'essence.
FIGURE 256 - Rappel des zones de fouille de l'école des Poiriers, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.
FIGURE 257 - Vue de l'intérieur des bains et de l'épandage de 400 097, cl. SAPVF.
FIGURE 258 - Vue du dégagement situé au nord de la chambre de chauffe, 400 243 correspond au sol charbonneux, cl. SAPVF.
FIGURE 259 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du foyer 400 097, Poiriers.
FIGURE 260 - Graphique en bâton des proportions des essences de l'US 400 097.
FIGURE 261 - Histogramme de répartition des diamètres des bois de l'US 400 097.
FIGURE 262 - Localisation des fours étudiés pour le site de l'îlot Camelin, DAO SAPVF.

FIGURE 263 - Four 3137 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. M. TORITI.
FIGURE 264 - Four 3325 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. SAPVF.
FIGURE 265 - Four 3564 **a.** Vue du four en cours de fouille cliché SAPVF. **b.** Coupe stratigraphique de l'intérieur de la fosse-foyer **c.** Carroyage implanté dans le comblement prélevé, DAO. M. TORITI.
FIGURE 266 - Proportions des essences de bois issues de FR 3137.
FIGURE 267 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3137, Camelin.
FIGURE 268 - Localisation des taxons selon les carrés de prélèvement FR 3137, DAO. M. TORITI.
FIGURE 269 - Proportion en % des essences ligneuses représentées au sein de FR 3325.
FIGURE 270 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3325, US 3663 Camelin.
FIGURE 271 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3325, US 3690 Camelin.
FIGURE 272 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3325, US 3691 Camelin.
FIGURE 273 - Proportions des essences de bois issues de FR 3564.
FIGURE 274 - Localisation des taxons selon les carrés de prélèvement FR 3564, DAO. M. TORITI.
FIGURE 275 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3564, US 3564 Camelin.
FIGURE 276 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3564, US 3569 Camelin.
FIGURE 277 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement du four FR3564, US 3578 Camelin.
FIGURE 278 - Histogramme de répartition des diamètres des bois de FR 3564.
FIGURE 19 - Exemples de fosses/ forges observées sur le site des Poiriers, cl. SAPVF, tirée de EXCOFFON *ET AL.* 2016.
FIGURE 280 - Vue du bas-foyer 3272, cl. SAPVF.
FIGURE 281 - Vue du foyer 4378, cl. SAPVF.
FIGURE 282 - Proportions des essences de l'US 300 273.
FIGURE 283 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement 300 273, Poiriers.
FIGURE 20 - Proportions des essences de l'US 400 377.
FIGURE 285 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement 400 377, Poiriers.
FIGURE 286 - Vue aérienne du secteur 14 haut et localisation du four à chaux (cercle rouge), cl. KAP ARCHÉO, 2014.
FIGURE 287 - Vue du four à chaux après les prélèvements anthracologiques.
FIGURE 288 - Proportions des essences de l'US 42456.
FIGURE 289 - Annexe 6 - Courbe d'effort-rendement générale du four FR42456, Saint Lupien, Rezé.
FIGURE 21 - **a.** Galeries ciblant le BI d'un chêne. **b.** Galerie indéterminée et vermoulure indéterminable sur une Rosacée/Pomoïdée. **c et d**. Vue des déformation de pourriture cubique.
FIGURE 291 - Vue du four F32 en cours de fouille, tirée de PILON (dir) 2015, vol. 2, p. C156.
FIGURE 292 - Relevé en coupe du four à chaux F32, Localisation du four, et vues générale de face et du fond du cendrier F52 et du lit de chaux 4083 (plans La Riobé ; D.A.O. PILON), tiré de PILON (dir) 2015.
FIGURE 293 - Proportion en % d'hyphes et d'autres infestations récentes, observés par site du corpus.
FIGURE 294 - Proportion en % de bois sains (vert) et de bois infestés (rouge) par site du corpus.
FIGURE 295 - Proportion en % de pourriture cubique observée par site du corpus concerné.
FIGURE 296 - Variabilité des espèces attestées sur les différents sites archéologiques étudiés.
FIGURE 297 - Carte générale de répartition des insectes attestés archéologiquement sur les sites du corpus.
FIGURE 298 - Proportion moyenne d'infestation des pièces de bois en fonction des essences, tous sites confondus.
FIGURE 299 - a. Lame de *Pinus sylvestris* présentant une cicatrice (bec oiseau probablement), observation réalisée durant le Wood anatomy course 2014 (Suisse), lame mince réalisée par H. GÄRTNER et F. H. SCHWEINGRÜBER. **b.** Lame de *Viscum album* avec écorce et infestation par des parasites, observation durant le Wood anatomy course 2014 (Suisse), lame mince réalisée par F. H. SCHWEINGRÜBER **c.** Succession de six galeries alignées, indéterminées mais faisant penser à des traces de parasites, coupe transversale de hêtre, Camelin, US 3775 CH 15.

TABLEAUX

TABLEAU 1 - Liste des termes latins relevés dans les textes antiques en rapport avec les insectes.
TABLEAU 2 (Annexe 1) - Liste des taxons observés ; les taxons en gras possèdent une fiche dans l'annexe.
TABLEAU 3 - Codes donnés en fonction de l'essence ligneuse.
TABLEAU 4 - Inventaire des principaux échantillons de la collection de référence actuelle.
TABLEAU 5 - Récapitulatif des distinctions des grandes familles d'insectes xylophages à partir de la vermoulure.
TABLEAU 6 (Annexe 2) – Mesures des vermoulures d'*Anobium punctatum*
TABLEAU 7 (Annexe 2) – Mesures des vermoulures d'*Oligomerus ptilinoides*
TABLEAU 8 (Annexe 2) – Mesures des vermoulures de *Nicobium castaneum*
TABLEAU 9 - Liste des échantillons carbonisés et nombres d'expériences.
TABLEAU 10 (Annexe 5) - Recensement à compléter des 594 espèces d'insectes xylophages (Coléoptères et Hyménoptères) en France de nos jours.
TABLEAU 11 - Tableau général des taxons présents au sein de l'US 40552.
TABLEAU 12 - Tableau de détail des taxons par carrés analysés, US 40552, le Fâ.
TABLEAU 13 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.
TABLEAU 14 à 43 – Annexe 6 - Tableaux de détail des structures analysées du site du Fâ (Barzan, 17)
TABLEAU 14 - Tableau détaillé de 40552 Carré 3
TABLEAU 15 - Tableau détaillé de 40552 Carré 5
TABLEAU 16 - Tableau détaillé de 40552 Carré 6
TABLEAU 17 - Tableau détaillé de 40552 Carré 9
TABLEAU 18 - Tableau détaillé de 40552 Carré 14
TABLEAU 19 - Tableau détaillé de 40552 Carré 15
TABLEAU 20 - Tableau détaillé de 40552 Carré 22
TABLEAU 21 - Tableau détaillé de 40552 Carré 23
TABLEAU 22 - Tableau détaillé de 40552 Carré 25
TABLEAU 23 - Tableau détaillé de 40552 Carré 28
TABLEAU 24 - Tableau détaillé de 40552 Carré 37
TABLEAU 25 - Tableau détaillé de 40552 Carré 42
TABLEAU 26 - Tableau détaillé de 40552 Carré 43
TABLEAU 27 - Tableau détaillé de 40552 Carré 45
TABLEAU 28 - Tableau détaillé de 40552 Carré 46
TABLEAU 29 - Tableau détaillé de 40552 Carré 47
TABLEAU 30 - Tableau détaillé de 40552 Carré 48
TABLEAU 31 - Tableau détaillé de 40552 Carré 49
TABLEAU 32 - Tableau détaillé de 40552 Carré 50
TABLEAU 33 - Tableau détaillé de 40552 Carré 53
TABLEAU 34 - Tableau détaillé de 40552 Carré 59
TABLEAU 35 - Tableau détaillé de 40552 Carré 60
TABLEAU 36 - Tableau détaillé de 40552 Carré 61
TABLEAU 37 - Tableau détaillé de 40552 Carré 62
TABLEAU 38 - Tableau détaillé de 40552 Carré 67
TABLEAU 39 - Tableau détaillé de 40552 Carré 73
TABLEAU 40 - Tableau détaillé de 40552 Carré 74
TABLEAU 41 - Tableau détaillé de 40552 Carré 75
TABLEAU 42 - Tableau détaillé de 40552 Carré 78
TABLEAU 43 - Tableau détaillé de 40552 Carré 79
TABLEAU 44 - Liste des échantillons observés, les Jacobins.
TABLEAU 45 - Tableau général résumant l'analyse anthracologique d'H. SEIGNAC.
TABLEAU 46 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.
TABLEAU 47 À 59 : Annexe 6 - Tableaux de détail des structures analysées du site des Jacobins (Rennes, 35)
TABLEAU 47 - Tableau détaillé de l'US 10296
TABLEAU 48 - Tableau détaillé de l'US 10300
TABLEAU 49 - Tableau détaillé de l'US 10341

TABLEAU 50 - Tableau détaillé de l'US 10342
TABLEAU 51 - Tableau détaillé de l'US 10466
TABLEAU 52 - Tableau détaillé de l'US 10706
TABLEAU 53 - Tableau détaillé de l'US 10784
TABLEAU 54 - Tableau détaillé de l'US 11016
TABLEAU 55 - Tableau détaillé de l'US 11088
TABLEAU 56 - Tableau détaillé de l'US 20406
TABLEAU 57 - Tableau détaillé de l'US 70435
TABLEAU 58 - Tableau détaillé de l'US 70444
TABLEAU 59 - Tableau détaillé de l'US 70760
TABLEAU 60 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.
TABLEAU 61 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur l'US 11088.
TABLEAU 62 - Tableau résumant les divers types d'infestation et la fonction du bois. **a.** les structures de la phase III. **b.** les structures de la phase V.
TABLEAU 63 - Liste non exhaustives des US de la période romaine de Condate non prélevées (estimation du nombre sur observation des photographies du rapport d'opération)
TABLEAU 64 - Liste des structures en bois carbonisé analysées.
TABLEAU 65 - Mesures des pièces carbonisées de l'US 4090.
TABLEAU 66 - Mesures des pièces carbonisées de l'US 4094.
TABLEAU 67 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées.
TABLEAU 68 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.
TABLEAU 69 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.
TABLEAU 70 à 88 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site du col d'Adon (Mujouls, 06)
TABLEAU 70 **-** Tableau détaillé de 4002 CH1
TABLEAU 71 - Tableau détaillé de 4002 CH2
TABLEAU 72 - Tableau détaillé de 4002 CH3
TABLEAU 73 - Tableau détaillé de 4002 CH4
TABLEAU 74 - Tableau détaillé de 4002 CH5
TABLEAU 75 - Tableau détaillé de 4021
TABLEAU 76 - Tableau détaillé de 4030 CH1
TABLEAU 77 - Tableau détaillé de 4030 CH2
TABLEAU 78 - Tableau détaillé de 4030 CH3
TABLEAU 79 - Tableau détaillé de 4030 CH4
TABLEAU 80 - Tableau détaillé de 4030 CH5
TABLEAU 81 - Tableau détaillé de 4030 CH6
TABLEAU 82 - Tableau détaillé de 4030 CH7
TABLEAU 83 - Tableau détaillé de 4030 CH8
TABLEAU 84 - Tableau détaillé de 4032 CH1
TABLEAU 85 - Tableau détaillé de 4032 CH2
TABLEAU 86 - Tableau détaillé de 4048
TABLEAU 87 - Tableau détaillé de 4051
TABLEAU 88 - Tableau détaillé de 4070
TABLEAU 89 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4090.
TABLEAU 90 à 129 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site du col d'Adon (Mujouls, 06)
TABLEAU 90 - Tableau détaillé de 4090 CH1
TABLEAU 91 - Tableau détaillé de 4090 CH2
TABLEAU 92 - Tableau détaillé de 4090 CH3
TABLEAU 93 - Tableau détaillé de 4090 CH4
TABLEAU 94 - Tableau détaillé de 4090 CH5
TABLEAU 95 - Tableau détaillé de 4090 CH6
TABLEAU 96 - Tableau détaillé de 4090 CH7
TABLEAU 97 - Tableau détaillé de 4090 CH8
TABLEAU 98 - Tableau détaillé de 4090 CH9
TABLEAU 99 - Tableau détaillé de 4090 CH10
TABLEAU 100 - Tableau détaillé de 4090 CH11

TABLEAU 101 - Tableau détaillé de 4090 CH12
TABLEAU 102 - Tableau détaillé de 4090 CH13
TABLEAU 103 - Tableau détaillé de 4090 CH14
TABLEAU 104 - Tableau détaillé de 4090 CH15
TABLEAU 105 - Tableau détaillé de 4090 CH16
TABLEAU 106 - Tableau détaillé de 4090 CH17
TABLEAU 107 - Tableau détaillé de 4090 CH18
TABLEAU 108 - Tableau détaillé de 4090 CH19
TABLEAU 109 - Tableau détaillé de 4090 CH20
TABLEAU 110 - Tableau détaillé de 4090 CH21
TABLEAU 111 - Tableau détaillé de 4090 CH22
TABLEAU 112 - Tableau détaillé de 4090 CH23
TABLEAU 113 - Tableau détaillé de 4090 CH24
TABLEAU 114 - Tableau détaillé de 4090 CH25
TABLEAU 115 - Tableau détaillé de 4090 CH26
TABLEAU 116 - Tableau détaillé de 4090 CH27
TABLEAU 117 - Tableau détaillé de 4090 CH28
TABLEAU 118 - Tableau détaillé de 4090 CH29
TABLEAU 119 - Tableau détaillé de 4090 CH30
TABLEAU 120 - Tableau détaillé de 4090 CH31
TABLEAU 121 - Tableau détaillé de 4090 CH32
TABLEAU 122 - Tableau détaillé de 4090 CH33
TABLEAU 123 - Tableau détaillé de 4090 CH34
TABLEAU 124 - Tableau détaillé de 4090 CH35
TABLEAU 125 - Tableau détaillé de 4090 CH36
TABLEAU 126 - Tableau détaillé de 4090 CH37
TABLEAU 127 - Tableau détaillé de 4090 CH38
TABLEAU 128 - Tableau détaillé de 4090 CH39
TABLEAU 129 - Tableau détaillé de 4090 CH40
TABLEAU 130 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4094.
TABLEAU 131 à 139 - Annexe 6 - Tableaux de détail des structures analysées du site du col d'Adon (Mujouls, 06)
TABLEAU 131 - Tableau détaillé de 4094A
TABLEAU 132 - Tableau détaillé de 4094B
TABLEAU 133 - Tableau détaillé de 4094C
TABLEAU 134 - Tableau détaillé de 4094D
TABLEAU 135 - Tableau détaillé de 4094E
TABLEAU 136 - Tableau détaillé de 4094F
TABLEAU 137 - Tableau détaillé de 4094G
TABLEAU 138 - Tableau détaillé de 4094H
TABLEAU 139 - Tableau détaillé de 4094I
TABLEAU 140 - Tableau général de répartition des taxons par structures analysées pour l'US 4095.
TABLEAU 141 à 144 - Annexe 6 - Tableaux de détail des structures analysées du site du col d'Adon (Mujouls, 06)
TABLEAU 141 - Tableau détaillé de 4095A
TABLEAU 142 - Tableau détaillé de 4095B
TABLEAU 143 - Tableau détaillé de 4095C
TABLEAU 144 - Tableau détaillé de 4095D
TABLEAU 145 - Liste des US comprenant les pieux analysés, par secteur de fouille.
TABLEAU 146 - Taxon identifiés par L. GANTIER pour l'ensemble des pieux du site de Rezé
TABLEAU 22 - Comptage et pourcentage d'infestation des bois, par secteur.
TABLEAU 148 - Comptage et pourcentage d'infestation « archéologique » des bois, par secteur.
TABLEAU 23 - Liste des essences infestées, nombre de pieux, et leur numéro d'inventaire correspondant.
TABLEAU 150 - Comptage et pourcentage des infestations « archéologiques » des bois, par secteur.
TABLEAU 151 - Insecte identifiés en fonction de l'essence et des pieux (numéros de catalogue).
TABLEAU 152 - Liste des pieux du secteur 16.

TABLEAU 153 - Liste des pieux du secteur 14, situés sous le CAI 9.
TABLEAU 154 - Liste des pieux du secteur 14/15.
TABLEAU 155 - Liste des pieux du secteur 18.
TABLEAU 156 - Liste des structures en bois carbonisé analysées.
TABLEAU 157 - Dimensions, en cm, des éléments carbonisés composant la structure 1006.
TABLEAU 158 - Dimensions, en cm, des éléments de la structure 1078.
TABLEAU 159 - Dimensions, en cm, des éléments de la structure 3007.
TABLEAU 160 - Dimensions de la bûche issue de l'US 3021, Ilot Camelin, 2013.
TABLEAU 161 - Dimensions de la planche issue de l'US 3248.
TABLEAU 162 – Dimensions, en cm, des éléments en bois carbonisés composant la structure 3495.
TABLEAU 24 – Dimensions, en cm, des éléments en bois carbonisés composant la structure 3527.
TABLEAU 164 - Dimensions, en cm, des éléments carbonisés qui composent la structure 3775.
TABLEAU 165 - Dimensions de la bûche issue de l'US 3969.
TABLEAU 166 - Nombre de cernes observées et mesurées par essence et structure.
TABLEAU 167 - Tableau général des structures par unité stratigraphique et essences ligneuses
TABLEAU 168 - Recensement des fragments analysés présentant des traces de ravageurs et d'insectes xylophages sur les charbons de bois ouvragés.
TABLEAU 169 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les bois ouvragés.
TABLEAU 170 à 189 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)
TABLEAU 170 - Tableau détaillé de 1006 CH 1
TABLEAU 171 - Tableau détaillé de 1006 CH 2
TABLEAU 172 - Tableau détaillé de 1006 CH 3
TABLEAU 173 - Tableau détaillé de 1006 CH 4
TABLEAU 174 - Tableau détaillé de 1006 CH 5
TABLEAU 175 - Tableau détaillé de 1078 CH 1
TABLEAU 176 - Tableau détaillé de 1078 CH 3
TABLEAU 177 - Tableau détaillé de 1078 CH 5
TABLEAU 178 - Tableau détaillé de 1078 CH 8
TABLEAU 179 - Tableau détaillé de 1078 CH 10
TABLEAU 180 - Tableau détaillé de 3007 CH 1
TABLEAU 181 - Tableau détaillé de 3007 CH 2
TABLEAU 182 - Tableau détaillé de 3007 CH 3
TABLEAU 183 - Tableau détaillé de 3007 CH 4
TABLEAU 184 - Tableau détaillé de 3007 CH 5
TABLEAU 185 - Tableau détaillé de 3007 CH 6
TABLEAU 186 - Tableau détaillé de 3007 CH 7
TABLEAU 187 - Tableau détaillé de 3007 CH 8
TABLEAU 188 - Tableau détaillé de 3007 CH 9
TABLEAU 189 - Tableau détaillé de 3007 CH 10
TABLEAU 190 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3007.
TABLEAU 191 à 207 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)
TABLEAU 191 - Tableau détaillé de 3021
TABLEAU 192 - Tableau détaillé de 3229 CH 1
TABLEAU 193 - Tableau détaillé de 3229 CH 2
TABLEAU 194 - Tableau détaillé de 3229 CH 3
TABLEAU 195 - Tableau détaillé de 3229 CH 4
TABLEAU 196 - Tableau détaillé de 3229 CH 5
TABLEAU 197 - Tableau détaillé de 3229 CH 6
TABLEAU 198 - Tableau détaillé de 3229 CH 7
TABLEAU 199 - Tableau détaillé de 3229 CH 16
TABLEAU 200 - Tableau détaillé de 3248
TABLEAU 201 - Tableau détaillé de 3329 CH 1
TABLEAU 202 - Tableau détaillé de 3329 CH 4
TABLEAU 203 - Tableau détaillé de 3495 CH 1
TABLEAU 204 - Tableau détaillé de 3495 CH 2
TABLEAU 205 - Tableau détaillé de 3495 CH 4

TABLEAU 206 - Tableau détaillé de 3495 CH 5
TABLEAU 207 - Tableau détaillé de 3495 CH 6
TABLEAU 208 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3495.
TABLEAU 209 à 212 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)
TABLEAU 209 - Tableau détaillé de 3527 CH 1
TABLEAU 210 - Tableau détaillé de 3527 CH 2
TABLEAU 211 - Tableau détaillé de 3527 CH 3
TABLEAU 212 - Tableau détaillé de 3527 CH 4
TABLEAU 213 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3527.
TABLEAU 214 à 220 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)
TABLEAU 214 - Tableau détaillé de 3585 CH 1
TABLEAU 215 - Tableau détaillé de 3585 CH 2
TABLEAU 216 - Tableau détaillé de 3585 CH 3
TABLEAU 217 - Tableau détaillé de 3766 CH 1
TABLEAU 218 - Tableau détaillé de 3766 CH 2
TABLEAU 219 - Tableau détaillé de 3766 CH 3
TABLEAU 220 - Tableau détaillé de 3766 CH 4
TABLEAU 221 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3766.
TABLEAU 222 à 248 - **Annexe 6** - Tableaux de détail des structures analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83)
TABLEAU 222 - Tableau détaillé de 3775 CH 1
TABLEAU 223 - Tableau détaillé de 3775 CH 2
TABLEAU 224 - Tableau détaillé de 3775 CH 3
TABLEAU 225 - Tableau détaillé de 3775 CH 4
TABLEAU 226 - Tableau détaillé de 3775 CH 5
TABLEAU 227 - Tableau détaillé de 3775 CH 6
TABLEAU 228 - Tableau détaillé de 3775 CH 7
TABLEAU 229 - Tableau détaillé de 3775 CH 8
TABLEAU 230 - Tableau détaillé de 3775 CH 9
TABLEAU 231 - Tableau détaillé de 3775 CH 10
TABLEAU 232 - Tableau détaillé de 3775 CH 11
TABLEAU 233 - Tableau détaillé de 3775 CH 12
TABLEAU 234 - Tableau détaillé de 3775 CH 13
TABLEAU 235 - Tableau détaillé de 3775 CH 14
TABLEAU 236 - Tableau détaillé de 3775 CH 15
TABLEAU 237 - Tableau détaillé de 3775 CH 16
TABLEAU 238 - Tableau détaillé de 3775 CH 17
TABLEAU 239 - Tableau détaillé de 3775 CH 18
TABLEAU 240 - Tableau détaillé de 3775 CH 19
TABLEAU 241 - Tableau détaillé de 3775 CH 20
TABLEAU 242 - Tableau détaillé de 3775 CH 21
TABLEAU 243 - Tableau détaillé de 3775 CH 22
TABLEAU 244 - Tableau détaillé de 3775 CH 23
TABLEAU 245 - Tableau détaillé de 3775 CH 24
TABLEAU 246 - Tableau détaillé de 3775 CH 25
TABLEAU 247 - Tableau détaillé de 3775 CH 26
TABLEAU 248 - Tableau détaillé de 3775 CH 27
TABLEAU 249 - Répartition et effectifs des insectes xylophages identifiés, US 3775.
TABLEAU 250 - Moyennes des mesures enregistrées pour les galeries puis pour les vermoulures fusiformes selon l'essence infestée (en mm).
TABLEAU 251 - Répartition des structures architecturales par essences ligneuses exogènes ou locales.
TABLEAU 252 - Types de coupe et travail du bois sur les structures ouvragées.
TABLEAU 253 - Bilan des hypothèses des types de structures en bois identifiées.
TABLEAU 254 - Inventaire et analyse des bois du Couvent des Filles-Dieu.
TABLEAU 255 - Liste des objets des collections du musée Dobrée analysés.
TABLEAU 256 - Résumé de l'ensemble des objets en bois analysés de la Porte-Allain, Trégueux. Les planches annoncées se trouvent dans l'Annexe 8.

TABLEAU 257 - Répartition des infestations selon les objets observés de la Porte-Allain, Trégueux.
TABLEAU 258 - Résumé de l'ensemble des objets en bois analysés d'Alésia. Les planches annoncées se trouvent dans l'Annexe 8.
TABLEAU 259 - Essences représentées au sein de l'US 2427, V. BELLAVIA.
TABLEAU 260 - ANNEXE 6 - Tableau de détail des analyses entomologiques de l'US 4027.
TABLEAU 261 - Répartition des fragments, présentant des traces d'insectes xylophages, par essence ligneuse.
TABLEAU 262 - Essences représentées au sein de l'US 61138, et proportions des fragments infestés, CH. BELINGARD.
TABLEAU 263 - ANNEXE 6 -Tableau de détail des analyses entomologiques de l'US 61138 partie supérieure.
TABLEAU 264 - Tableau de détail des analyses entomologiques de l'US 61138 partie inférieure.
TABLEAU 265 - Proportion des galeries observées par essences et par niveau de l'US 61138 **a.** Partie supérieure. **b.** Partie inférieure.
TABLEAU 266 - Tableau général des taxons d'insectes xylophages attestés sur les charbons de l'US 61138.
TABLEAU 267 - Unités stratigraphiques de type foyer analysées sur le site des Poiriers.
TABLEAU 268 - Tableau général des structures par unité stratigraphique et essences ligneuses.
TABLEAU 269 - ANNEXE 6 - Tableau détaillé de 400 097
TABLEAU 270 - ANNEXE 6 - Tableau détaillé de 400 243
TABLEAU 271 - Tableau général des structures artisanales par unité stratigraphique et essences ligneuses.
TABLEAU 272 - Tableau des taxons observés dans le four FR 3137, répartition par carroyage.
TABLEAU 273 À 276 - ANNEXE 6 - Tableaux de détail des structures artisanales analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83).
TABLEAU 273 - Tableau détaillé de 3155 carré A
TABLEAU 274 - Tableau détaillé de 3155 carré B
TABLEAU 275 - Tableau détaillé de 3155 carré C
TABLEAU 276 - Tableau détaillé de 3155 carré D
TABLEAU 277 - Tableau des taxons observés dans le four FR 3325, répartition par carroyage.
TABLEAU 278 À 284 - ANNEXE 6 - Tableaux de détail des structures artisanales analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83).
TABLEAU 278 - Tableau détaillé de 3663 carré A
TABLEAU 279 - Tableau détaillé de 3663 carré B
TABLEAU 280 - Tableau détaillé de 3690 carré A
TABLEAU 281 - Tableau détaillé de 3690 carré B
TABLEAU 282 - Tableau détaillé de 3691 carré A
TABLEAU 283 - Tableau détaillé de 3691 carré B
TABLEAU 284 - Tableau détaillé de 3691 carré C
TABLEAU 285 - Tableau des particularités des bois et saison d'abattage, FR 3325. BI : Bois Initial ; BF : Bois Final.
TABLEAU 286 - Tableau des taxons observés dans la fosse-foyer FR 3564, répartition par carroyage et par US de comblement.
TABLEAU 287 À 296 - ANNEXE 6 - Tableaux de détail des structures artisanales analysées du site de l'îlot Camelin (Fréjus, 83).
TABLEAU 287 - Tableau détaillé de 3564 carré B
TABLEAU 288 - Tableau détaillé de 3564 carré D
TABLEAU 289 - Tableau détaillé de 3569 carré A
TABLEAU 290 - Tableau détaillé de 3569 carré B
TABLEAU 291 - Tableau détaillé de 3569 carré C
TABLEAU 292 - Tableau détaillé de 3569 carré D
TABLEAU 293 - Tableau détaillé de 3578 carré A
TABLEAU 294 - Tableau détaillé de 3578 carré B
TABLEAU 295 - Tableau détaillé de 3578 carré C
TABLEAU 296 - Tableau détaillé de 3578 carré D
TABLEAU 297 - Tableau des particularités des bois et saison d'abattage, FR 3564. BI : Bois Initial ; BF : Bois Final.
TABLEAU 298 - Tableau des taxons observés du comblement 300 273.
TABLEAU 299 - **ANNEXE 6** - Tableau détaillé de 300 273
TABLEAU 300 - Tableau des taxons observés du comblement 400 377.
TABLEAU 301 - **ANNEXE 6** - Tableau détaillé de 400 377
TABLEAU 302 - Proportions des essences de l'US 42456, selon les carrés de prélèvement.
TABLEAU 303 À 311 - ANNEXE 6 - Tableaux de détail du four à chaux du site de Saint Lupien (Rezé, 44).

TABLEAU 303 - Tableau détaillé de 42456 carré A
TABLEAU 304 - Tableau détaillé de 42456 carré B
TABLEAU 305 - Tableau détaillé de 42456 carré C
TABLEAU 306 - Tableau détaillé de 42456 carré D
TABLEAU 307 - Tableau détaillé de 42456 carré E
TABLEAU 308 - Tableau détaillé de 42456 carré F
TABLEAU 309 - Tableau détaillé de 42456 carré G
TABLEAU 310 - Tableau détaillé de 42456 carré H
TABLEAU 311 - Tableau détaillé de 42456 carré I
TABLEAU 312 - Tableau résumant les observations des insectes xylophages et autres traces sur les charbons de bois.
TABLEAU 313 À 331 - ANNEXE 6 - Tableaux de détail de l'analyse anthraco-entomologique du four à chaux du site de Châteaubleau (78).
TABLEAU 313- Tableau détaillé de 4070-1
TABLEAU 314- Tableau détaillé de 4071-2
TABLEAU 315- Tableau détaillé de 4071-3
TABLEAU 316- Tableau détaillé de 4071-4
TABLEAU 317- Tableau détaillé de 4071-5
TABLEAU 318- Tableau détaillé de 4071-6
TABLEAU 319- Tableau détaillé de 4071-7
TABLEAU 320- Tableau détaillé de 4074-8
TABLEAU 321- Tableau détaillé de 4074-9
TABLEAU 322- Tableau détaillé de 4074-10
TABLEAU 323- Tableau détaillé de 4074-11
TABLEAU 324- Tableau détaillé de 4074-12
TABLEAU 325- Tableau détaillé de 4074-13
TABLEAU 326- Tableau détaillé de 4074-14
TABLEAU 327- Tableau détaillé de 4074-15
TABLEAU 328- Tableau détaillé de 4074-16
TABLEAU 329- Tableau détaillé de 4074-17
TABLEAU 330- Tableau détaillé de 4074-18
TABLEAU 331- Tableau détaillé de 4074-19
TABLEAU 332 - Liste des grandes familles d'insectes (ou de vers) xylophages connus aujourd'hui, par les citations antiques et attestées archéologiquement.
TABLEAU 333 - Moment de l'infestation des bois selon les sites présentant des traces d'insectes xylophages.

PLANCHES

Les planches sont notées de 1 à x dans la continuité du texte et des annexes en fonction de leur appel dans le volume texte. L'exception concerne les planches comprises dans les catalogues des pieux du site de Saint-Lupien à Rezé et des objets restaurés par ARC'ANTIQUE (Trégueux et Alésia) qui conservent une numérotation propre.

PLANCHE 1 À 10 (**Annexe 1**) planches MEB des essences ligneuses

PLANCHE 11 - Traces de ravageurs ligneux. **a.** Galeries sur bois actuel. **b.** Vermoulures sur bois actuel. **c.** Galeries sur bois gorgé d'eau. **d.** Vermoulures sur bois gorgé d'eau. **e.** Galeries sur bois carbonisé, cl. G. CONTINI. **f.** Vermoulures sur bois carbonisé. **g.** Traces de champignons de type pourriture cubique, sur bois actuel. **h.** Traces de champignons de type pourriture cubique, sur bois archéologique carbonisé.

PLANCHE 12 - Vermoulures des espèces de Ptinidae. **a.** Vermoulure d'*A. punctatum*. **b.** Unités avec débris rangés aléatoirement, effritement, d'*A. punctatum* **c.** Vermoulure d'*O. ptilinoides*. **d.** Unités avec débris parallèle, d'*O. ptilinoides*. **e.** Vermoulure de *N. castaneum*. **f.** Unités lisses avec ligne creuse de *N. castaneum*.

PLANCHE 13 - Détails et effectifs des mesures (largeur et longueur) des unités de vermoulure des trois espèces de vrillettes étudiées. Graphique de répartition des unités mesurées.

PLANCHE 14 - Mesures EDS des éléments présents dans le bois et dans les vermoulures par espèce, coll. L. JOANNY.

PLANCHE 15 - Vues avant et après carbonisation, des échantillons de bois actuel. **a.** Expérience TIO1 carbonisé en mode oxygène (A1). **b.** Expérience TiO1 carbonisé en mode semi-réducteur (A2). **c.** Expérience QO3 carbonisé en mode oxygène (A1). **d.** Expérience QO1 en mode oxygène (A1).

PLANCHE 16 - Résultats des expériences de carbonisation. **a.** Galeries en vue transversale (AO1-A1). **b.** Galeries en vue en tangentielle (PisyO1-A1). **c.** Concrétions conservées dans les parois des galeries (QT1-A1). **d.** Vermoulure et coque de nymphose conservées (IncT2-A2). **e.** Unités de vermoulure d'*H. bajulus* (LaO1-A1). **f.** Unités de vermoulure de *N. castaneum* (QO1-A1)**. g.** Nymphe de *N. castaneum* et sa coque de nymphose (QO2-A1). **h.** Restes de larve de *N. castaneum* (IncT2-A2).

PLANCHE 17 À 23 (**Annexe 4**) planche MEB expérimentation

PLANCHE 24 - **a.** Hyphes de champignon en surface du fragment carbonisé, de couleur orangé. **b.** Hyphes de champignon en surface du fragment carbonisé, de couleur blanc. **c.** Reste d'arthropode, type patte d'araignée. **d.** Mue d'arthropode de type *Scolopendria*. **e. et f.** Galeries visibles sur coupes longitudinales de chêne F. C., sans vermoulure.

PLANCHE 25 - **a.** Fragment de mue d'arthropode non carbonisé, US 10341**. b. et c.** Amas de champignons actuels ; détails, US 10706. **d.** Exemple de pourriture de type cubique, US 10342. **e et f.** Détail de la vermoulure type Anobium punctatum ; amas de vermoulures carbonisées, US 11088. **g et h.** Galerie ciblant le bois initial du chêne F. C., *cf.* lyctus, US 11016.

PLANCHE 26 - **a.** Coupe radiale de Quercus F. C. avec galerie ronde remplies de vermoulures fusiformes de type *Anobium punctatum*. **b.** Zoom sur les vermoulures fusiformes. *Anobium punctatum*. **c.** Coupe transversale de *Fagus* avec des galeries ovales de type *Cerambycidae*. **d. et e** Coupe transversale de *Tilia* avec une galerie (L. JOANNY, CMEBA) ; avec une quinzaine de galeries indéterminées.

PLANCHE 27 - **a à d.** Exemples d'arthropodes non carbonisés de type *Scolopendria.* **e et f.** Amas d'hyphes de champignon. **g et h.** Galeries de type indéterminée car vermoulure trop carbonisée ou absente.

PLANCHE 28 - **a.** Galerie ronde carbonisée de type *Anobium punctatum*, US 4090. **b.** Profil de galerie de type *Anobium punctatum*, avec vermoulure fusiforme, US 4090. **c et d.** Vermoulure lenticulaire carbonisé de *Xestobium rufovilosum*, US 4090. **e et f.** Amas de vermoulure carbonisés indéterminés, US 4090.

PLANCHE - **a.** Exemple d'œuf d'arthropode indéterminé actuel, US 3775. **b.** Vue d'un échantillon présentant des traces de déformations fongiques de type pourriture cubique. **c.** Galerie type de *Cossoninae,* US 3495. **d.** Détail de la vermoulure type *Cossoninae*, carbonisée, US 3495. **e.** Vermoulure type *Anobium punctatum,* US 3775. **f.** Vermoulure type *Ptinidae* car les unités fusiformes sont collées par la carbonisation, US 3766.

PLANCHE 30 - **a à d.** Exemples de galeries type de *Cossoninae*, US 3495. **e et f.** Détail de la vermoulure type *Cossoninae*, US 3495.

PLANCHE 31 - a et b. Exemples de galeries type de *Ptinidae*, US 3766. **c et d.** Vermoulure carbonisée d'*Anobium punctatum*, US 3766. **e et f.** Détail de la vermoulure carbonisée type *Anobium punctatum*, US 3766.

PLANCHE 32 - US 3775 **a à c.** Exemples de galeries type de *Ptinidae*. **d.** Traces de champignon de type pourriture cubique. **e à g.** Vermoulure carbonisée et détails de type *Anobium punctatum* et *Oligomerus ptilinoides*. **h.** Exemple de mue récente de *Scolopendria*.

PLANCHE 33 - Seau 930.2.4759, dessins des douelles et mise en évidence des traces d'*Anobium punctatum* et de l'écaillage résultant du développement de la pourriture cubique. DAO. M. TORITI.

PLANCHE 34 - a. Galeries de type *Cossoninae* sur un échantillon d'*Abies alba*. **b.** Galeries dites en "réseaux" ou se recoupant type *Cossoninae*, *Fagus* sp. **c.** Une galerie type *Cossoninae* (avec restes de vermoulure), accompagnée de micro-galeries (inf. à 0,8 mm de diamètre). Le charbon se "désagrège" à cause d'anciennes traces de pourriture cubique. **d.** Micro-galeries sur *Fagus* sp et traces de pourriture cubique. **e.** Détail des galeries et vermoulure. **f.** Détail des vermoulures vitrifiées. **g.** Exemple de vermoulure de *Cossoninae* actuel.

PLANCHE 35 - a et b. Galeries de type *cf. Lyctus* sur un échantillon de chêne. **c à f.** Galeries rondes à irrégulières de types Cossoninae ou Lyctidae que du hêtre. **g et h.** Vermoulure hétérogène, fondue.

PLANCHE 36 - a à d. Galeries de type *Cossoninae* sur du peuplier. **e.** Vermoulure granuleuse de type *Cossoninae*. **f..** Charbon de peuplier touché par de la pourriture cubique conservée carbonisée.

FICHES (DE DONNÉES, D'EXPÉRIENCES)

FICHE 1 À 29 (Annexe 1) – fiches des essences ligneuses

FICHE 30 À 45 (Annexe 3) - Fiche d'enregistrement d'analyses EDS

FICHE 46 à 57 (Annexe 4) - Fiche de présentation des échantillons

FICHE 58 à 76 (Annexe 4) - Fiche de déroulement des expériences

FICHE 77 à 86 : (Annexe 4) - Fiches résultats bruts des expériences

GLOSSAIRE

Les termes définis ou commentés ici, sont précédés d'une * dans le corps du texte de synthèse ou des annexes lorsqu'ils sont mentionnés pour la première fois. Ces mots sont classés par ordre alphabétique. Pour faciliter et harmoniser la lecture, tous les mots techniques ou mal connus liés à l'écologie ou aux techniques de travail du bois, à l'anatomie du bois et des insectes ont été regroupés sous une seule rubrique.

* * *

ANGIOSPERME : (n. fem.) concerne les plantes à fleur et les végétaux produisant des fruits ; chez les arbres, les angiospermes sont des feuillus.

ARTHROPODE : (n. masc.) animal pourvu d'appendices locomoteurs formés de plusieurs pièces articulées; corps à symétrie bilatérale, revêtu d'une couche de chitine. Embranchement du règne animal comprenant tous les animaux des milieux aquatique, terrestre et aérien, invertébrés à pattes articulées et dont le corps est formé de segments : arachnides, crustacés, insectes, myriapodes, *etc*.).

ASSEMBLAGE (ENTOMOLOGIQUE) : (n. masc.) il s'agit de l'ensemble des espèces d'insectes (et d'arthropodes) qu'il est possible de rencontrer au sein d'un milieu donné et de ses contextes environnementaux spécifiques.

AUBIER : (n. masc.) bois jeune et tendre situé entre le cambium et le liber. Il s'agit d'un tissu dans lequel circule la sève et où s'accumulent les matières nutritives : amidons, sucres. À l'œil nu, en coupe transversale, il apparaît généralement comme la partie la plus claire du bois adjacent à l'écorce. Cette partie du bois est la plus sensibles aux attaques de ravageurs xylophages.

BILLE : (n. fem.) Longueur coupée de tronc d'arbre sans branches et dépourvue de gros défauts. La bille est généralement faite à partir d'une grume (*cf. infra*).

BLEUISSEMENT : (n. masc.) coloration bleuâtre à noire de l'aubier, causée par un champignon. Pas d'incidence sur la mécanique du bois, mais sur l'aspect général.

BOCAGE : (n. masc.) désigne un paysage rural, aménagé par l'homme, constitué de haies de grands arbres entourant des parcelles cultivées ou en prairies.

BOIS : (n. masc.) matériau massif composé d'un tronc, de branches et de racines. Arbre à son état vivant. Deux grandes familles : conifères (gymnosperme) et les feuillus (angiosperme) dont les cellules sont très différenciées et assurent les fonctions de circulation de la sève, de soutien et de rigidité de l'arbre.

BOIS DE BRIN : (n. masc.) désigne la pièce obtenue par l'enlèvement des quatre dosses, lors de l'équarrissage, et dont l'axe correspond ainsi avec l'axe original de l'arbre; au contraire,

le bois de sciage dans ce second sens désigne les pièces extraites d'une même grume, selon les techniques du débit sur dosse et du débit sur quartier dont il va être question, et qui par là même présentent une moindre résistance

BOIS INITIAL : (n. masc.) bois de printemps. Il est constitué par le cambium dans le cerne au début de la période annuelle de végétation. Il est caractérisé par des trachéides de grandes dimensions et à parois fines chez les gymnospermes et par la présence de vaisseaux nombreux ou de grand diamètre chez les angiospermes.

BOIS FINAL : (n. masc.) bois d'hiver. Plus dense que le bois de printemps, il est produit à la fin de la période annuelle de végétation et est caractérisé par des trachéides de petites dimensions et à parois épaisses chez les gymnospermes et par la présence d'une zone contenant des vaisseaux de petits diamètres ou en faible nombre chez les angiospermes.

CAMBIOPHAGE : (adj.) groupe d'insectes qui, à un stade de leur développement, se nourrissent des tissus situés entre l'écorce et l'aubier (*cambium*, *liber*). Synonyme de sous-cortical.

CAMBIUM : (n. masc.) chez les végétaux ligneux, couche cellulaire située dans les troncs, les branches et les racines. Le cambium engendre du bois (aubier) et du liber (écorce). Ces cellules produisent l'ensemble des tissus conducteurs et protecteurs d'un arbre responsable de la croissance en diamètre de ce dernier.

CANAL RÉSINIFÈRE : (n. masc.) cavité tubulaire que l'on rencontre chez la plupart des résineux (genre *pinus, larix, picea...*), de longueur variable, formée par une ou plusieurs couches de cellules de parenchyme. Formés chaque année par le cambium, les canaux conduisent la sève brute.

CERNE : (n. masc.) désignant un cercle concentrique, correspondant à la croissance annuelle de l'arbre. Un cerne équivaut à une année de croissance chez l'arbre. Il est formé par le cambium chaque année et est composé du bois initial (bois de printemps dont les cellules peuvent être plus imposantes) et du bois final (bois d'hiver comprenant des cellules de plus petite taille).

CHITINE : (n. fem.) substance organique azotée, solide et imperméable qui recouvre le corps des arthropodes (insectes et crustacés principalement). Ce que l'on appelle communément : la carapace d'un insecte.

CORTICAL : (adj.) ce qui est relatif à l'écorce ou l'enveloppe végétale. Sous-corticale : sous-écorce.

CUPRESSOÏDE : (adj.) correspond en microscopie à la forme des cellules observables dans les champs de croisement, typique pour la famille des cyprès.

DÉGÂT : (n. masc.) en entomologie actuelle, concerne les dommages induisant une perte économique ou une réduction du potentiel de production.

DÉPÉRISSEMENT : (n. masc.) association de symptômes conduisant à une altération durable d'un arbre vivant (ou de l'ensemble d'une population végétale) le conduisant à la mort. Un des premier symptômes et la réduction de qualité et de la quantité du feuillage de l'arbre, peut s'en suivre une coloration anormale de ce dernier, des suintements de résine sur le tronc...

DOSSE : (n. fem.) concerne le débitage du bois, dit débitage en dosse ou sur plot. Il s'agit du découpage du bois, ou tronc, lorsque vue en coupe transversale (ou tronc vu du dessus) en plans parallèles. Une planche dosse correspond aux premières et dernières planches, bombées et comportant de l'écorce, débitées dans une grume dans le sens longitudinal tangentiel. La suite du débitage sur plot sur l'ensemble de la pièce de bois, conserve cet axe.

DOUELLE : (n. fem.) nom donné aux douves composant un tonneau ou un seau.

ÉLYTRE : (n. masc.) aile antérieure des coléoptères, fortement sclérifiée, pouvant former un étui sous lequel se replie l'aile postérieure et protégeant celle-ci.

ESPÈCE : (n. fem.) unité élémentaire de classification, désignée par un nom de genre et un qualificatif d'espèce (ex : *Quercus sessilifora* ; *Anobium punctatum*). Une espèce est un groupe d'individus apparentés, interféconds et dont la descendance est fertile.

ESSENCE : (n. fem.) synonyme d'espèce pour les végétaux selon une terminologie employé par les forestiers.

FAMILLE : (n. fem.) unité de classification des êtres vivants regroupant plusieurs genres voisins (ex : Pinacées, Fabacées pour les végétaux ou Cérambycidés, Ptinidés pour les insectes).

FLAMBAGE : (n. masc.) phénomène affectant les pièces longues. Il se caractérise par une déformation à simple ou double courbure qui résulte d'un effort composé de compression et de flexion.

GALERIE : (n. fem.) en entomologie, passage creusée dans le bois par une larve d'insecte xylophage. La larve se nourrit du bois qu'elle perce au fur et à mesure de son avancée. La taille, la forme et le positionnement de la galerie dans le bois dépend de l'espèce d'insecte.

GENITALIA : (n. fem.) parties génitales des insectes généralement obtenues par dissection de l'individu et qui permet, selon la famille étudiée (Curculionidae par exemple), une identification à l'espèce.

GENRE : (n. masc.) unité de classification des êtres vivants regroupant plusieurs espèces voisines (ex : *Quercus, Pinus* pour les végétaux ou *Anobium, Xylotrechus* pour les insectes).

GRUME : (n. fem.) arbre abattu, ébranché et encore couvert d'écorce.

GYMNOSPERME : (n. fem.) sont des plantes dont les ovules libres (graines nues non encloses dans un ovaire à la différence des angiospermes) sont fécondés directement par le pollen. Concerne l'ensemble des conifères : résineux ou non.

HÉLIOPHILE : (adj.) plante qui recherche/privilégie pour une croissance optimale, la lumière du soleil.

HÉTÉROXYLÉ : (adj.) se dit d'un bois qui présente des fibres en plus des vaisseaux conducteurs. Comprend le groupe des angiospermes.

HOMOXYLÉ : (adj.) se dit d'un bois dépourvu de fibres et formé en majeure partie de trachéides. Comprend le groupe des gymnospermes.

HÔTE : (n. masc.) organisme végétal (ou animal) aux dépend duquel se développe un parasite qui en tire tout ou partie de sa nourriture.

HYGROPHILE : (adj.) plante qui recherche/privilégie pour une croissance optimale, une source d'humidité.

HYPHE : (n. masc.) correspondant à des filaments à structure cellulaire, dépourvus de chlorophylle, dont l'ensemble constitue le mycélium d'un champignon supérieur ou d'un lichen.

IMAGO : (n. masc.) mot latin, utilisé couramment en entomologie pour désigner la forme définitive de l'insecte adulte sexué. Synonyme de « l'insecte parfait ».

LANDE : (n. fem.) formation végétale dominée par des ligneux bas.

LIBER : (n. masc.) chez les arbres, tissu végétal conducteur de la sève élaborée du feuillage vers toutes les parties de la plante, situé à la périphérie du tronc, sous l'écorce.

LIGNEUX : (adj.) qui contient du bois, ou de la nature du bois ; s'oppose à herbacé.

MÉSOPHILE : (adj.) caractérise des conditions moyennes dans un gradient sécheresse-humidité.

MYCÉLIUM : (n. masc.) partie végétative des champignons, formée de filaments souterrains ramifiés, généralement blancs (hyphes), et sur laquelle croîtront les carpophores, ou champignons au sens usuel du mot.

NYMPHOSE : (n. fem.) moment du cycle de développement d'un insecte où celui-ci est sous forme de nymphe, passant alors d'un stade larvaire soit à un autre stade larvaire plus complexe, soit à l'imago.

PARASITE : (n. masc.) organisme animal ou végétal qui se nourrit strictement aux dépens d'un organisme hôte d'une espèce différente, de façon permanente ou pendant une phase de son cycle vital. Certains insectes xylophages peuvent être parasites.

PARENCHYME : (n. masc.) tissu fondamental des végétaux supérieurs, formé de cellules vivantes peu différenciées, de même diamètre, allongées ou étoilées, aux parois cellulosiques ni épaissies ni lignifiées, remplissant des fonctions variées (nutrition, conduction de la sève élaborée, réserve, passage pour les gaz, remplissage). En microscopie, l'agencement du parenchyme permet une meilleure identification des taxons. Ce tissu assure la majeure partie des fonctions essentielles à la vie (photosynthèse, stockage des réserves) ; dans le bois, le parenchyme est associé aux tissus conducteurs, fonctionnels mais morts.

PHÉROMONE : (n. fem.) substance chimique, qui, émise à dose infime par un animal (ou insecte) dans le milieu extérieur, provoque chez un congénère des réactions comportementales spécifiques.

PHYLLOPHAGE : (adj.) se dit d'un animal/insecte se nourrissant de feuille.

PICÉOÏDE : (adj.) correspond en microscopie à la forme des cellules observables dans les champs de croisement, typique pour le groupe des *picea*.

PIEU : (n. masc.) pièce de bois de section circulaire (ou éventuellement à pans coupés), de diamètre égal ou supérieur à 10 cm114, et dont une extrémité est taillée en pointe.

PINOÏDE : (adj.) correspond en microscopie à la forme des cellules observables dans les champs de croisement, typique pour la famille des pins.

PIQUET : (n. masc.) pièce allongée dont une extrémité est taillée en pointe, et dont la section, généralement carrée, peut être éventuellement rectangulaire (ou même circulaire), mais qui se distingue du PIEU par ses dimensions plus faibles, avec un côté inférieur à 10 cm (et une longueur normalement inférieure à Im).

PLANCHE : (n. fem.) pièce de forme allongée, dont la largeur est supérieure à 3 fois l'épaisseur, celle-ci allant, dans les bois modernes, de 1,3 à 7 cm (la largeur est souvent comprise entre 12 et 18 cm)

PLOT : (n. masc.) le débitage sur plot est synonyme du débit sur dosse (*cf. supra*).

POLYPHAGE : (adj.) coléoptères, tels que les staphylins, les chrysomèles, les charançons et les scarabées, dont le régime alimentaire consiste à se nourrir d'aliments variés (bois, feuillage, racines, sucs et sèves, champignons...).

POTEAU : (n. masc.) pièce d'un diamètre égal ou supérieur à 5 cm, et de longueur normalement supérieure à la taille humaine.

POUTRE : (n. fem.) pièce de même type, dont la largeur des côtés est égale ou supérieure à 16 cm

RAVAGEUR : (n. masc.) insecte ou animal, considéré comme nuisible, attaquant les plantes cultivées ou stockées, ayant alors un impact économique et/ou écologique. Synonyme de « déprédateurs ». Les insectes xylophages font partis des ravageurs du bois.

RIPISYLVE : (n. fem.) se dit d'une forêt, constituée essentiellement d'espèces pionnières, installée au bord d'un cours d'eau (« les pieds dans l'eau ») sur un terrain humide.

SAPROPHAGE : (adj.) organismes tels que des insectes, acariens, autres arthropodes ou champignons qui ne consomment que des déchets organiques (bois, humus, os, fruits...).

SAPROXYLOPHAGE : (adj.) organismes tels que des insectes, acariens, autres arthropodes ou champignons qui ne consomment que du bois mort. Ils sont parmi les derniers agents qui permettent de décomposer le bois en forêt et de le transformer en humus.

TAPHONOMIE : (n. fem.) ensemble des processus qui régissent la conservation ou la destruction des restes biologiques : site archéologiques, structures carbonisées, cadavres, *etc*. Ces processus résultent de l'intervention des agents naturels (érosion, concrétions, activité des animaux fouisseurs…), et des interventions humaines ultérieures (pillage, remaniement).

TAXODIOÏDE : (adj.) correspond en microscopie à la forme des cellules observables dans les champs de croisement, typique pour le groupe des *taxus*.

TAXON : (n. masc.) unité de classification des êtres vivantes (espèce, genre, famille).

TRACHÉÏDE : (n. fem.) cellule allongée constitutive des tissus ligneux, ayant un rôle de soutien, qui conduit la sève brute dans les parties vivantes de la plante, communiquant par des ponctuations avec les cellules voisines du même type ; le bois des conifères est formé de trachéides aréolées qui assurent soutien et conduite, et de parenchyme.

VAISSEAU : (n. masc.) élément fonctionnel du xylème*, conducteur de sève, il s'agit d'un tube formé d'une file d'éléments de vaisseaux communiquant par des perforations terminales. L'agencement spécifique des vaisseaux, chez les angiospermes, permet d'identifier un taxon ou un genre formant ainsi le « visage » de l'essence.

VERMOULURE : (n. fem.) déjections ou poudre laissées par les larves d'insecte xylophage.

XÉROPHILE : (adj.) se dit des plantes adaptées aux milieux secs.

*X***YLÈME** : (n. masc.) tissu conducteur de sève brute et imprégné de lignine des végétaux supérieurs comprenant des fibres ligneuses, des vaisseaux (feuillus) ou des trachéides (conifères), constituant le bois.

XYLOPHAGE : (adj.) se dit d'un organisme dont le régime alimentaire est composé exclusivement de bois.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES SPÉCIALISÉS

- Anatomie et écologie du bois

Da Lage, Métailié 2005 : DA LAGE (A.), MÉTAILIÉ (G.) - *Dictionnaire de biogéographie végétale*, CNRS éditions, Paris, 2005, 580 p.

Greguss 1955 : GREGUSS (P.) - *Identification of living gymnosperms on the basis of xylotomy.* Akademiai Kiado, Budapest, 1955, 263 p.

Heinrich, Hergt 1993 : HEINRICH (D.), HERGT (M.) - *Atlas de l'écologie, encyclopédie d'aujourd'hui.* Clermont-ferrand, éd. La Pochotèque, 1993, pp. 70-219.

Jacquiot *et al.* 1973 : JACQUIOT (C.), TRENARD (Y.), DIROL (D.) BOUREAU (M.-E.) - *Atlas d'anatomie des bois, les Angiospermes.* Paris, éd: Centre technique du bois, 1973, tome I, 175 p.

Rameau *et al.* 2005a : RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUME (G.), coll. Timbal (J.), Lecointe (A.), Dupont (P.), Keller (R.) – *Flore Forestière Française. Guide écologique illustré. Volume 1 : Plaines et collines*. Dijon-Quetigny, Institut pour le développement forestier, Ministère de l'agriculture et de la forêt : Direction de l'espace rural et de la forêt, école nationale du génie rural, des eaux et des forêts, 1989 (fin d'impression en 2005), 1785 p.

Rameau *et al.* 2005b : RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUME (G.), coll. Timbal (J.), Lecointe (A.), Dupont (P.), Keller (R.) – *Flore Forestière Française. Guide écologique illustré. Volume 2 : Montagnes*. Dijon-Quetigny, Institut pour le développement forestier, Ministère de l'agriculture et de la pêche : Direction de l'espace rural et de la forêt, école nationale du génie rural, des eaux et des forêts, 1993 (fin d'impression en 2005), 2421 p.

Schweingruber 1990 : SCHWEINGRUBER (F.H.) - *Anatomie europäischer Hölzer; anatomy of European woods*. Haupt, éd: WSL-FNP, 1990, 800 p.

Vernet *et ali.* 2001 : VERNET (J.-l.), coll. OGEREAU (P.), FIGUERAL (I.), MACHADO ZANES (C.), Uzquiano (P.) - *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-Ouest de l'Europe: France, péninsule ibérique, et îles Canaries.* Paris, éd: CNRS Editions, 2001, 395 p.

- Anatomie et écologie des insectes

Balachowsky 1997 : BALACHOWSKY (A.) – *Faune de France, 50, Coléoptères scolytides*, Ed. de 1949 réimprimée, éd. Fédération française des sociétés de sciences naturelles, Office

central de faunistique, dir. Honoraire : P. DE BEAUCHAMP, dir. L. CHOPARD, librairie de la Faculté des Sciences, publié avec le concours du C.N.R.S., Paris, 345 fig. et 320 p.

Berger 2012 : BERGER (P.) – *Coléoptères cerambycidae de la faune de France continentale et de Corse.* Actualisation de l'ouvrage d'André Villiers, 1978. Ed. Association Roussillonaise d'entomologie (A.R.E.), Perpignan, 664 p.

Hoffmann 1986 : HOFFMANN (A.) – *Faune de France, 59, Coléoptères, Curculionides (Deuxième partie),* Ed. de 1954 réimprimée, éd. Fédération française des sociétés de sciences naturelles, Paris, 1211p.

Portevin 1929 : PORTEVIN (G.) - *Histoire Naturelle des coléoptères de France*. Tome I : *Adephaga-Polyphaga* : *staphylinoidea*. Encyclopédie entomologique, série A, XII, Ed. Paul Lechevalier & Fils, Paris, 649 p.

Portevin 1931 : PORTEVIN (G.) - *Histoire Naturelle des coléoptères de France*. Tome II : *Polyphaga* : *Lamellicornia, palpicornia, diversicornia*. Encyclopédie entomologique, série A, XIII, Ed. Paul Lechevalier & Fils, Paris, 542 p.

Portevin 1934 : PORTEVIN (G.) - *Histoire Naturelle des coléoptères de France*. Tome III : *Polyphaga* : *Heteromera, phytophaga*. Encyclopédie entomologique, série A, XVII, Ed. Paul Lechevalier & Fils, Paris, 492 fig. et 5 pl., 374 p.

Portevin 1935 : PORTEVIN (G.) - *Histoire Naturelle des coléoptères de France*. Tome IV : *Polyphaga* : *Rhynchophora*. Encyclopédie entomologique, série A, XVIII, Ed. Paul Lechevalier & Fils, Paris, 383 fig. et 5 pl., 500 p.

Tempère, Péricart 1989 : TEMPERE (G.), PERICART (J.) – *Faune de France, 74, Coleoptères, Curculionidae : quatrième partie, compléments*. Ed. de 1954 réimprimée, éd. Fédération française des sociétés de sciences naturelles, Paris, 534 p.

Therond 1975 : THEROND (J.) – Catalogue des coléoptères de la Camargue et du Gard. Première partie : Caraboidea, Palpicornia, Staphylinoidea, Diversicornia, Heteromera, Lamellicornia. Société d'étude des Sciences Naturelles de Nîmes. Mémoire n°10, 411 p.

Therond 1975 : THEROND (J.) – Catalogue des coléoptères de la Camargue et du Gard. Deuxième partie : Phytophaga : Cerambycidae, Chrysomelidae, Bruchidae, Rhynchophora : Anthribidae, Brenthidae, Curculionidae, Scolytidae. Société d'étude des Sciences Naturelles de Nîmes. Mémoire n°10, 193 p.

Outils web :

Fauna Europea - *https://fauna-eu.org/*

Base CICRP - *http://insectes-nuisibles.cicrp.fr/*

- Cartes de végétation

Ozenda 1956 : OZENDA (P.) - *Carte de la végétation de la France, n°68, Nice, avec le concours du ministère de l'agriculture et du fond forestier national*. Grenoble, éd. Institut de géographie nationale, CNRS, IMEP, Université Aix-Marseille III, 1956.

Ozenda 1981 : OZENDA (P.) – *Végétation des Alpes du Sud-Occidentales.* Notice détaillée des feuilles : 60 Gap – 67 Digne – 68 Nice. Paris, Gap, éd. du C.N.R.S, 1981, 258 p.

SOURCES ANTIQUES CONSULTÉES

Caton

- *De l'agriculture,* texte établi, traduit et commenté par GOUJARD (R.). Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1975, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 342 p.

Ovide

– *Les Métamorphoses* (Tome I, livres I-V), texte établi, traduit et commenté par LAFAYE (G.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2003, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 147 p.

– *Les Métamorphoses* (Tome II, livres VI-X), texte établi, traduit et commenté par LAFAYE (G.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2003, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 147 p.

Palladius

– *Traité d'agriculture* (livre I et II), texte établi, traduit et commenté par MARTIN (R.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1976, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 209 p.

– *Traité d'agriculture* (livre III à V), texte établi, traduit et commenté par GUIRAUD (Ch.), MARTIN (R.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2010, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 140 p.

Pline l'Ancien

- *Histoire Naturelle,* Livre I, *vue d'ensemble des 36 livres*. Introduction de ERNOUT (A.) et texte établi, traduit et commenté par et BEAUJEU (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles

Lettres », 1951, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 276 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre II, *Cosmologie, astronomie et géologie*. Texte établi, traduit et commenté par BEAUJEU (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1951, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 400 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre III, *Géographie des mondes connus: Italie, Espagne, Narbonnaise*. Texte établi, traduit et commenté par ZEHNACKER (H.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1998, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 324 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre IV, *Géographie de l'Europe, suite.* Texte établi, traduit et commenté par SILBERMAN (A.) et ZEHNACKER (H.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2015, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 546 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre V, *Géographie: L'Afrique du Nord.* Texte établi, traduit et commenté par DESANGES (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1980, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 524 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre VI, (4 parties, suite *Géographie*) texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), FILLIOZAT (J.), DESANGES (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1980-2008, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 780 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre VII, *De l'Homme*. Texte établi, traduit et commenté par SCHILLING (R.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1977, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 366 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre VIII, *Des animaux terrestres*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1952, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 268 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre IX, *Des animaux marins.* Texte établi, traduit et commenté par DE SAINT-DENIS (E.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1955, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 224 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre X, *Des animaux ailés*. Texte établi, traduit et commenté par DE SAINT-DENIS (E.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1961, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 248 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XI, *Des Insectes. Des Parties du corps*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.) et PÉPIN (R.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1947, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 312 p.

– *Histoire Naturelle,* Livre XII, *Des arbres*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1949, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 160 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XIII, *Des arbres exotiques*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1956, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 172 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XIV, *Des Arbres fruitiers : la vigne*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1958, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 220 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XV, *De la Nature des arbres fruitiers*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1960, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 182 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XVI, *Caractères des arbres sauvages*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1962, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 276 p.

– *Histoire Naturelle,* Livre XVII, *Caractères des arbres cultivés*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1964, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 300 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XVIII, *De l'Agriculture*. Texte établi, traduit et commenté par LE BONNIEC (H.) avec la contribution de LE BOEUFFLE (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1972, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 462 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XIX, *Nature du lin et horticulture.* Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1964, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 264 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XX, *Remèdes tirés des plantes de jardins*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1965, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 334 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXI, *Nature des fleurs et des guirlandes*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1969, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 242 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXII, *Importance des plantes*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1970, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 198 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXIII, *Remèdes tirés des arbres cultivés*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1971, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 194 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXIV, *Remèdes tirés des arbres sauvages*. Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1972, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 236 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXV, *Nature des plantes naissant spontanément et des plantes découvertes par les hommes.* Texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1974, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 252 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXVI, *Remèdes par espèces*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.) et PÉPIN (R.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1958, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 186 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXVII, *Remèdes par espèces (suite)*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1959, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 174 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXVIII, *Remèdes tirés des animaux*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1962, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 292 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXIX, *Remèdes tirés des animaux (suite)*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1962, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 190 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXX, *Remèdes tirés des animaux - magie*. Texte établi, traduit et commenté par ERNOUT (A.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1963, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 164 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXXI, *Remèdes tirés des eaux*. Texte établi, traduit et commenté par SERBAT (G.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1972, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 252 p.

- *Histoire Naturelle,* Livre XXXII, *Remèdes tirés des animaux aquatiques*. Texte établi, traduit et commenté par DE SAINT-DENIS (E.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1966, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 206 p.

Théophraste

- *Recherches sur les plantes,* tome I, livre I et II, texte établi, traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1988, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 143 p.

- *Recherches sur les plantes,* tome II, livre III et IV, texte établi, traduit et commenté par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1989, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 304 p.

- *Recherches sur les plantes,* tome III, livre V et VI, texte établi et traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1993, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 210 p.

- *Recherches sur les plantes,* tome IV, livre VII et VIII, texte établi et traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2003, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 236 p.

- *Recherches sur les plantes,* tome V, livre IX, texte établi et traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2006, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 397 p.

- *Les causes des phénomènes végétaux,* livre I et II, texte établi, traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2012, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 236 p.

- *Les causes des phénomènes végétaux,* livre III et IV, texte établi, traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2015, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 352 p.

- *Les causes des phénomènes végétaux,* livre V et VI, texte établi, traduit par AMIGUES (S.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2017, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 258 p.

Varron

– *Économie rurale, Tome I, Livre I.* Texte établi, traduit et commenté par HEURGON (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1978, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 189 p.

- *Économie rurale, Tome II, Livre II*. Texte établi, traduit et commenté par GUIRAUD (Ch.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2002, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 172 p.

- *Économie rurale, Tome III, Livre III- Index*. Texte établi, traduit et commenté par GUIRAUD (Ch.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1997, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 176 p.

Vitruve

– *De l'Architecture,* Livre I. Texte établi, traduit et commenté par FLEURY (Ph.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1990, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 208 p.

– *De l'Architecture,* Livre II. Texte établi, traduit, introduit et commenté par CALLEBAT (L.), GROS (P.) et JACQUEMARD (C.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1999, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 190 p.

- *De l'Architecture,* Livre III. Texte établi et traduit par GROS (P.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2002, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 252 p.

- *De l'Architecture,* Livre IV. Texte établi et traduit par GROS (P.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2002, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 261 p.

– *De l'Architecture,* Livre V. Texte établi, traduit et commenté par SALIOU (C.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2009, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 434 p.

- *De l'Architecture,* Livre VI. Texte établi, traduit et commenté par CALLEBAT (L.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2004, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 286 p.

- *De l'Architecture,* Livre VII. Texte établi, traduit et commenté par LIOU (B.), ZUINGHEDAU (M.) et CAM (M.-T.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 1995, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 194 p.

- *De l'Architecture,* Livre VIII. Texte établi et traduit par CALLEBAT (L.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2002, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 228 p.

- *De l'Architecture,* Livre IX. Texte établi et traduit par SOUBIRAN (J.), Paris, Société d'édition « Les Belles Lettres », 2002, Collection des Universités de France, publiée sous le patronage de l'Association Guillaume Budé, 352 p.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Adam 1989 : ADAM (J.-P.) – *La construction romaine : matériaux et techniques*. Paris, éd. Picard, deuxième édition, 1989, 367 p.

Adam *et al.* 2005 : ADAM (A.), CARCAILLET (A.), TALON (B.), ROIRON (P.), TERRAL (J.-F.) – *Pinus cembra* (arolla), a common tree in the inner French Alps since the early Holocène and above the present tree line : a synthesis based on charcoal data from soils and travertines. *Journal of Biogeography*, 32, 2005, pp. 1659-1669.

Alphonsine 2003 : ALPHONSINE (C.) - *Le bois*. *In* : *L'homme et son milieu dans l'antiquité, 1000 ans d'exploitation des ressources naturelles dans le Var (IVe siècle avant-VIe siècle après J.-C.)*. Musée d'art de Toulon, Centre Archéologique du Var (C.A.V.), 2003, pp. 68-7André6.

André *et al.* 1997 : ANDRE (J.), CHABAL (L.), THI MAI (B), RAYNAUD (C.) – Habitat et environnement autour de l'étang de l'Or au premier millénaire. Approches pluridisciplinaires. *Revue archéologique de Narbonnaise*, tome 30, 1997, pp. 85-116.

Andreau 2010 : ANDREAU (J.) - *L'économie du monde romain.* Le monde: une histoire. Ed. Ellipses, Collection : mondes anciens, Paris, 2010, 281 p.

Arcelin *et ali* 1995 : ARCELIN (P.), BOUDET (R.), BRUNAUX (J.-L.), CAUUET (B.), CHAUSSERIE-LAPREE (J.), FICHTL (S.), GOUDINEAU (C.), GUICHARD (V.), GUILLAUMET (J.-P.), LAMBERT (P.-Y.), REDDE (M.) – *Redécouverte des Gaulois.* Paris, éd. Errance, collection « Les éclats du passé » dirigée par V. Charpentier, 1995, 118 p.

Argant 2015 : ARGANT (J.) - *Archéologie et paléoenvironnement. Contribution des apports poctuels : palynologie des coprolithes et des coquillages.* Coll. Anne BARDOT-CAMBOT et Laurence TRANOY. L'environnement en mémoire. Marqueurs, outils et perspectives, Presses universitaires de Rennes, 2015, Archéologie et Culture, pp.47-5.

Arnaud, Gazenbeek 2001 : ARNAUD (P.), GAZENBEEK (M.) - *Habitat rural antique dans les Alpes-Maritimes.* Antibes, éd. APDCA, 2001, actes de table ronde (Valbonne, 22/03/1999), 329 p.

Arnaud 2002 : ARNAUD (P.) - *Des peuples aux cités dans les alpes méridionales: sources, problèmes, méthodes*. *In*: GARCIA (D.), VERDIN (F.) (Dir.) - *Territoires celtiques: espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale.* Paris, éd. Errance, 2002, actes du XXIVe colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Martigues, 1-4/06/2000) pp. 185-198.

Arthuis *et al.* 2007 : ARTHUIS (R.), BOULUD (S.), CYPRIEN (A.-L.), GUITTON (D.), MÉNANTEAU (L.), MONTEIL (M.), MOUCHARD (J.), DE PERETTI (O.), POLINSKI

(A.), RIEUNIER (P.), VERNEAU (F.), VISSAC (C.) et VISSET (L.) - *Nouvelles recherches sur le port fluvial et les entrepôts antiques de Rezé (Loire-Atlantique).* Archéologies en Loire, Actualité de la recherche dans les régions, Centre et Pays-de-la-Loire, æstuaria, 2007, 12 : 129-138.

Arthuis *et al.* 2012 : ARTHUIS (R.), GUITTON (D.), HENIGFELD (Y.), MONTEIL (M.), MOUCHARD (J.), DE PERETTI (O.) - *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien. Fouille programmée 2009-2012.* Rapport final 2012 et bilan 2005-2012. Travaux coordonnés par R. ARTHUIS, D. GUITTON et J. MOUCHARD. Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 1 : texte. Avec les contributions de : J.-G. AUBERT, C. FABRE, X. FAVREAU, J.-M. FEMENIAS, Y. HENIGFELD, M.-L. HERVE, M. MONTEIL, N. MENEZ, O. DE PERETTI, L. PIRAULT, A. POLINSKI, P. RIEUNIER, C. VISSAC, M. YACGER. Mars 2013, 226 p.

Astrade, Miramont 2010 : ASTRADE (L.), MIRAMONT (C.) Dir. - *Panorama de la dendrochronologie en France*. Dignes-les-Bains, collection Edytem, n°11, 2010, actes du colloque « *Panorama de la dendrochronologie en France* » (Dignes-les-Bains, 8-9-10/10/2009, Alpes de Haute Provence), 218 p.

Aubert 2007 : AUBERT (G.) - *Rôle des facteurs du milieu dans la différenciation de la couverture végétale, en milieu continental terrestre, au sein de la région Provence Alpes Côte d'Azur*. Marseille, éd. Faculté de Sciences et Techniques de St-Jérôme, 68 p.

Audouze, Buchsenschutz 1989 : AUDOUZE (F.), BUCHSENSCHUTZ (O.) - *Villes, villages et campagnes de l'Europe celtique.* Paris, éd. Hachette (bibliothèque d'archéologie), 1989, 362 p.

Badal-Garcia 1992 : BADAL-GARCIA (E.) - L'anthracologie préhistorique: à propos de certains problèmes méthodologiques. *In* : VERNET, J.L. (dir.) - Les charbons de bois les anciens écosystèmes et le rôle de l'Homme, Bulletin de la Société Botanique de France, v. 139, n. 2-4, 1992, pp.167-189.

Barberot 1911 : BARBEROT (E.) - *Traité pratique de charpente*. Paris, éd. Jean-Cyrille Godefroy, réimpression de l'éd. 1911, 612 p.

Barbey 1923 : BARBEY (A.) La Forêt européenne et sa résistance aux attaques des Insectes ravageurs. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 3e année, bulletin n°25, septembre 1923, pp. 593-604.

Baslé 2011 : BASLÉ (K.) – Traitements de désinsectisation des biens patrimoniaux : legislation et critères méthodologiques. *La lettre de l'OCIM*, 138, novembre-décembre 2011, pp. 24-30.

Battisti 2004 : BATTISTI (A.) - Forests and climate change : lesson from insects. Forest entomology, by the Italian Society of Siviculture and Forest Ecology (1), 2004, pp. 17-24.

Beal 1995 : BEAL (J.-C.) - L'*arbre et la forêt, le bois dans l'antiquité.* Paris, éd. De Boccard, 1995 (publication de la bibliothèque Salomon-Reinach), 115 p.

Benkert, Epiney-Nicoud 2008 : BENKERT (A.), EPINEY-NICOUD (C.) - Gamsen, une agglomération de l'âge du Fer. *In*: JOSPIN (J.-P), FAVRIE (T.) (Dir.) - *Premiers bergers des Alpes, de la Préhistoire à l'Antiquité.* Gollion, éd. Infolio, 2008, pp. 109-114.

Bernard 2003 : BERNARD (V.) – Stratégie d'approvisionnement en Gaule du nord-ouest (Du Ier siècle avant au IVe siècle après J.-C.). *In* : *Revue archéologique de Picardie.* N°1-2 2003. Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine.. pp. 77-86.

Bernardi 1995 : BERNARDI (P.), *Métiers du bâtiment et techniques de construction à Aix-en-Provence à la fin de l'époque gothique (1400-1550)*, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 1995, p. 125-136.

Bernardi 2007 : BERNARDI (P.) dir. - F*orêts alpines et charpentes de Méditerranée*. Gap, éd. du Fournel, 2007, Exposition créée au musée muséum départementale, en partenariat avec la région Provence-Alpes-Côte-D'Azur et le Laboratoire d'Archéologie Médiévale Méditerranéenne (LAMM), pp. 9-190.

Berti *et al.* 1997 : BERTI (S.), GAMBETTA (A.), LAURIOLA (M. P.) - *Analysis of the deformations induced by microwave heating on wooden articles which are historically and artistically interesting*. Poster.

Berti *et al.* 2007 : BERTI (S.), CRIVELLARO (A.), NOCETTI (M.), RESCIC (L.), SOZZI (L.) – *Conoscere il legno*. CNR Ivalsa, Via del legno, CNR e Consorzio Boschi Carnici, septembre 2007, 21p.

Bertrand *et al.* 2009 : BERTRAND (I.), DUVAL (A.), GOMEZ DE SOTO (J.), MAGUER (P.) et coll. -*Habitats et paysages ruraux en Gaule et regards sur d'autres régions du monde celtique*. Chauvigny (Vienne, France), mémoire XXXV, 2009, actes du XXXIe colloque international de l'Association Française pour l'étude de l'âge du Fer (17-20/05/2007), tome II, 541 p.

Blanchette 1991 : BLANCHETTE (R.A.) – *Deterioration in historic and archaeological woods from terrestrial sites. In :* KOESTLER(R.J.), KOESTLER (V.H.), CHAROLA (A.E.), NIETO-FERNANDEZ (F.E.) – *Art, biology, and conservation : biodeterioration of works of art.* THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART, NEW YORK, 2003. Pp. 328-347.

Bletchly 1953 : BLETCHLY (J. D.) - The influence of decay in timber on susceptibility to attack by the common furniture beetle, *Anobium punctatum* de G. Annals of Applied Biology, an international journal of the QQB, march 1953, pp. 218-221.

Bobadilla *et al.* 2015 : BOBADILLA (L.), ARRIAGA (F.), LUENGO (E.), MARTINEZ (R.) – Dimensional and morphological analysis of the detritus from six european wood boring insects. *Maderas, Ciencia y tecnologia*, 17 (4), 2015, pp. 893-904.

Botton *et ali* 1990 : BOTTON (B.), BRETON (A.), FEVRE (M.), GAUTHIER (S.), GUY (Ph.), LARPENT (J.-P.), REYMOND (P.), SANGLIER (J.-J.), VAYSSIER (Y.), VEAU (P.) – Moisissures utiles et nuisibles : importance industrielle. 2e édition, ed. Masson, collection Biotechnologies, Paris, 1990, 512 p.

Bouet *et al.* 2005 : BOUET (A.), BARDOT (A.), MARCHET (G.), ROBERT (B.), SANCHEZ (C.), GENEVIEVE (V.), coll. Bernier (M.), Cottam (S.) - *Le Fâ (commune de Barzan), le quartier à l'ouest des thermes, les entrepots, DFS de fouilles programmées*. Poitiers, 2005, pp. 1-37.

Bouet *et al.* 2008 : BOUET (A.), BARDOT (A.), DELAGE (F.), ROBERT (B.), LARRE (F.), SANCHEZ (C.), GENEVIEVE (V.) - *Le Fâ (commune de Barzan), le quartier à l'ouest des thermes, les entrepots, DFS de fouilles programmées*. Poitiers, 2008, 114 p., 113 fig.

Bouet 2011 : BOUET (A.) (dir.) - *Barzan III. Un secteur d'habitat dans le quartier du sanctuaire du Moulin du Fâ à Barzan*. Bordeaux, Éditions Ausonius (Mémoires 26), Éditions de la Fédération Aquitania, suppl. 27), 2011.

Bremond, Lessertisseur 1973 : BREMOND (J.), LESSERTISSEUR (J.) – Lamarck et l'entomologie. In : *Revue d'histoire des sciences*, 1973, tome 26, n°3, pp. 231-250.

Britton *et al.* 2007 : BRITTON (Ch.), CHABAL (L.), PAGÈS (G.), SCHNEIDER (L.) - Approche interdisciplinaire d'un bois méditerranéen entre la fin de l'antiquité et la fin du Moyen Âge, Saugras et Aniane, Valène et Montpellier. *Médiévales*, 53, automne 2007, pp. 65-80.

Buckland, Coope 1991 : BUCKLAND (P. C.), COOPE (G. R.) - A bibliography and literature review of quaternary entomology. Sheffield : J.R. Collis Publications, Dept. of Archaeology & Prehistory, University of Sheffield, 1991, 24 p.

Bulletin technique 2002 : *Dow AgroSciences, Fluorure de Sulfuryle, gaz pour fumigation*, indianapolis, U.S.A., Bulletin technique, 2002, 12 p.

Burri 2012 : BURRI (S.) - Vivre de l'inculte, vivre dans l'inculte en Basse Provence centrale à la fin du Moyen Âge : Histoire, archéologie et ethnoarchéologie d'un mode de vie itinérant. Thèse soutenue en novembre 2011 sous la direction d'A. DURAND, à l'Université d'Aix-Marseille, 954 p.

Calvi 1996 : CALVI (D.) – *Pathologie des structures récentes en bois*. 1996, 116 p.

Cambefort 2006 : CAMBEFORT (Y.) - *Des coléoptères, des collections & des hommes*, Publications Scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 2006, 375 p.

Campbell, Bryant 1940 : CAMPBELL (W. G.), BRYANT (S. A.) – *A chemical study of bearing of decay by phellinus cryptarum karst and other fungi on the destruction of wood by the death-watch beetle (Xestobium Rufovillosum de G.)*, article, s.l. pp. 1404-1414.

Campbell, Kenward 2012 : CAMPBELL (G.), KENWARD (H.) - *Insect and plant remains. In* : TIPPER (J.) - *Experimental Archaeology and Fire: the investigation of a burnt reconstruction at West Stow Anglo-Saxon Village*, East Anglian Archaeology, pp. 90-181.

Chabal 1988 : CHABAL (L.) - *Pourquoi et comment prélever les charbons de bois pour la période antique les méthodes utilisées sur le site de Lattes (Hérault). In : Lattara 1*, 1988, pp. 187-222.

Chabal 1994 : CHABAL (L.) – Apports récents de l'anthracologie à la connaissance des paysages passés : performances et limites. *Histoire & Mesure*, volume 9, n°3-4, 1994, pp. 317-338.

Chabal 1997 : CHABAL (L.) - Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive), l'anthracologie, méthode et paléoécologie. Paris, Documents d'archéologie française, 63, 1997, 189 p.

Chabal *et al.* 1999 : CHABAL (L.), FABRE (L.), TERRAL (J.-F) et THERY-PARISOT (I.) - *L'Anthracologie. In:* FERDIERE (A.) Dir. - *la botanique, collections archéologiques*. Paris, éd. Errance, 1999, pp. 43-103.

Chabal, Feugère 2005 : CHABAL (L.), FEUGERE (M.) - Le mobilier organique des puits antiques et autres contextes humides de Lattara. G. Piquès, R. Buxó ; Onze puits gallo-romains de Lattara (Ier s. av. n. è. - IIe s. de n. è.). Fouilles programmées 1986-2000, 18, ADAL, 2005, Lattara, pp.137-188.

Chailloux 1887 : CHAILLOU (F.) – *La station gallo-romaine des Cléons, Haute-Goulaine, près Nantes*. Mémoires. Société Française d'Archéologie, Congrès archéologique de France, séances générales tenues par la Société française d'Archéologie pour la conservation des monuments historiques, Paris, 1887 (53), pp. 147-162.

Champaud 1957 : CHAMPAUD (Cl.) - L'exploitation ancienne de cassitérite d'Abbaretz-Nozay (Loire-Inférieure). Contribution aux problèmes de l'étain antique. *In*: *Annales de Bretagne.* Tome 64, numéro 1, 1957. pp. 46-96.

Chararas 1957 : CHARARAS (C.) – *Étude anatomique et biologique de quelques Curculionidae xylophages et comparaison avec des Scolytidae.* Thèse à la faculté des sciences de l'Université de Paris, pour obtenir le titre d'ingénieur docteur, soutenue en juin 1956, N° d'odre 523, Paris, 75 p et 26 planches.

Chenorkian 1996 : CHENORKIAN (R.) – *Pratique archéologique, statistique et graphique. Méthodes et techniques*. Ed. Errance et adam, Paris, 1996, 162 p.

Chrzavzez 2013 : CHRZAVZEZ (J.) - *Approche expérimentale de la conservation des charbons de bois dans les gisements paléolithiques : processus post-dépositionnels, fragmentation et représentativité des assemblages anthracologiques*. Thèse de doctorat sous la direction de Liliane MEIGNEN et le tutorat d'Isabelle THÉRY-PARISOT.

Université de Nice-Sophia Antipolis, UFR Lettres, Arts, Sciences Humaines et Sociales - UMR 7264 CEPAM-CNRS, novembre 2013, 478 p.

Cocquempot, Valladares 2009 : COCQUEMPOT (Ch.), VALLADARES (L.) – Datation des déprédations de termites et autres insectes xylophages de l'habitat et du bois d'œuvre. Approche méthodologique pour la France métropolitaine. *Cahier technique.* Inra, 67, 2009, pp. 31-42.

Cocquempot *et al.* 2012 : COCQUEMPOT (Ch.), SOLDATI (F.), PARMAIN (G.) - *Xylotrechus stebbingi* (Gahan, 1906) nouveau pour le département de l'Aude (Coleoptera, Cerambycidae). *R.A.R.E.*, T. XXI (2), 2012, pp. 1-2.

Colling 2002 : COLLING (Ch.) – *Les insectes xylophages*. Pentol, n.c, 19 p.

Compan 1980 : COMPAN (M.) - *Les sites romains des Alpes-Maritimes: mise à jour de la Forma Orbis Romani.* Aix en Provence, Thèse de doctorat de 3ème cycle sous la direction de C. Goudineau, Université de Provence, 1980, 364 p.

Coquidé *et al.* 2009 : COQUIDE (C.), FRASCONE (D.), RAMPONI (C.), THOLLON-POMMEROL (C.) – *Habitats ruraux antiques à interpréter au nord de la Narbonnaise*. *In* : LEVEAU (P.), RAYNAUD (C.), SABLAYROLLES (R.), TREMENT (F.) – *Les formes de l'habitat rural gallo-romain : terminologies et typologies à l'épreuve des réalités archéologiques*. Bordeaux, éd. Pessac : Fédération Aquitania. Colloque AGER VIII, Toulouse 2007, supplément 17, pp. 179-198.

Coulon 1990 : COULON (G.) – *Les Gallo-Romains : les villes, les campagnes et les échanges*. Tome 1 et 2. Paris éd. Armand Colin, 1990, 217 et 239 p.

Court-Picon 2003 : COURT-PICON (M.) - Approche palynologique et dendrochronologique de la mise en place de paysage dans le Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales. Thématique, méthodologie et premiers résultats. *Archéologie du Midi Médiéval,* 21, 2003, pp. 211-224.

CTBA 1996 : Centre Technique du Bois et de l'Ameublement – *Le traitement curatif des bois dans la construction*. Département BIOTEC (Biologie, Environnement, Technologies). Paris, éd. Eyrolles, CTBA, 140 p.

Crivellaro 2005 : CRIVELLARO (A.) – Note su *Trichoferus holosericeus* (Rossi, 1790) (Coleoptera cerambycidae), xilofago del legno secco. *Redia*, LXXXVIII, 2005, pp. 109-113.

Curdy, Kaenel 2006 : CURDY (P.), KAENEL (G.) - *Les Celtes de l'âge du Fer*. *In*: GALLAY (A.) dir., BULLINGER (J.), CORBOUD (P.), CROTTI (P.), CURDY (P.), DAVID-ELBIALI (M.), KAENEL (G.), KRAMAR (C.), PIGNAT (G.), RACHOUD-SCHNEIDER (A.-M.), STUDER (J.), coll. Benkert (A.), Guélat (M.), Mariéthoz (F.), Moinat (P.), Epiney-Nicoud (C.), Stahl-Gretsch (L.-I.) - *Des Alpes au Léman, images de la Préhistoire*. Bischheim (France), infolio éditions, 2006, pp. 260-325.

Cymorek 1979 : CYMOREK (S.) – Data sheet on woodboring insects : Bostrichus capucinus (Linneus). The international Research Group on Wood Preservation, Biological problems, Document N° : IRG/WP/193, Scotland, 1978, 14 p.

Dajoz 2007 : DAJOZ (R.) - *Les insectes et la forêt*. Ed. TEC & DOC, 2e édition, Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier, Coll. Lavoisier, 2007, Paris, 648 p.

David 2014 : DAVID (R.) - *Modélisation de la végétation holocène du Nord-Ouest de la France : reconstruction de la chronologie et de l'évolution du couvert végétal du Bassin parisien et du Massif armoricain.* Thèse de doctorat sous la direction de Dominique MARGUERIE, soutenue en avril 2014, Université de Rennes 1, 283 p.

Delhon 2008 : DELHON (C.) - *Phytolithes et taphonomie, apport de l'expérimentation à la quantification des phytolithes dans les cendres de bois*. Revue bilingue de Préhistoire, actes de la table ronde, 27-29 mai 2008, CEPAM, pp. 95-107.

Delhoofs *et al.* à paraître : DELHOOFS (H.), DUMAS-LATTAQUE (P.), CHAMPEYROL (S.) - *Cébazat (63), ZAC des Montels III - Maison Blanche - Champ Roche. Un site gaulois et antique, occupé du IIe s. av. au IIIe s. apr. J.-C.* En cours.

Delhoofs 2015 : DELHOOFS (H.) (dir.) - *Cébazat (63), ZAC des Montels III, Maison blanche - Champ Roche : un site gaulois et antique, occupé du IIe s. av. au IIIe s. apr. J.-C.* Évéah, notice, 12 p.

Delobel, Tran 1993 : DELOBEL (A.), TRAN (M.) – *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*. Orstom/CTA, Faune tropicale XXXII, Paris, 1993, 424 p.

Démaret 1941 : DEMARET (M. J.) – *Cours de constructions civiles*. École centrale des arts et manufactures, s.l, 1958, 638 p.

Dimitrakopoulos, Papaioannou 2001 : DIMITRAKOPOULOS (AP), PAPAIOANNOU (KK) - Flammability assessment of Mediterranean forest fuels. *Fire Technology* 37, 143–152.

Dindo *et al.* 1991 : DINDO (M. L.), CAMPADELLI (G.), GAMBETTA (A.) – Note su *Xylocopa violacea* L. e Xylocopa valga Gerst. (Hym. Anthophoridae) nidificanti nei tronchi della foresta fossile di Dunarobba (Umbria). *Boll. Ist. Ent. « G. Grandi » Università di Bologna*, 46, 1991, pp. 153-160.

Dirol, Deglise 2001 : DIROL (D.), DEGLISE (X.) – *Durabilité des bois*. Mécanique et ingénierie des matériaux. Ed. Hermès science publications, Paris, 2001, 416 p.

Doat *et al.* 1981 : DOAT (J.), VALETTE (Ch.), ASKRI (D.), CAUMARTIN (L.), BETTACHINI (M.), MORO (M.) - Le pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes. *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, Avignon, 1981, 38 (4), pp.469-486.

Dodelin 2006 : DODELIN (B.) - *Écologie et biocénoses des coléoptères saproxyliques dans quatre forêts du nord des Alpes françaises.* thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry, Annecy, 13 décembre 2006, 159 p.

Dop, Gauthier 1928 : DOP (P.), GAUTHIER (A.) – *Manuel de technique botanique, histologie et microbiologie végétales.* Ed. J. Lamarre, pp. 101-115.

Dubar *et al.* 2011 : DUBAR (M.), MAI (B.-T.), GIRARD (M.) - Évolution de la végétation littorale de la Côte d'Azur (Var et Alpes-Maritimes, France) en relation avec les derniers stades de la remontée du niveau marin à l'Holocène. Esquisse d'un modèle Quaternaire, *Quaternaire*, vol. 22/1 (2011), pp. 61-71.

Dufraisse 2006 : DUFRAISSE (A.) - Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth *In* : DUFRAISSE (A.) - Charcoal analysis : New Analytical tools and methods for archaeology. Papers from the Table-Ronde held in Basel 2004 - *BAR International Series* 1483, 2006, pp. 47-58.

Dufraisse, Martinez 2011 - *Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données*. ANTHROPOBOTANICA 2011, 02. Publications Scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. pp. 1- 18.

Durand *et al.* 2010 : DURAND (A.), DUVAL (S.), VASCHALDE (Ch.) – *Le charbonnage des Ericacées méditerranéennes : approches croisées archéologiques, anthracologiques et historiques*. *In* : DELHON (C.), THÉRY-PARISOT (I.), THIEBAULT (S.) – *Des hommes et des plantes. Exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours. XXXe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes,* Éditions APDCA, Antibes, 2010, pp. 323-331.

Durand, Terral 2005 : Durand (A.), Terral (J.-F.) - Regarder autrement le charbon de bois archéologique : l'exemple de l'irrigation des plantations d'oliviers en France méridionale et en Catalogne (IXe-XVe siècle). *Archéologie du Midi Médiéval,* Association Centre d'Archéologie Médiévale du Languedoc (C.A.M.L.), 2005, 23-24, pp.75-92.

Durand, Vernet 1987 : DURAND (A.), VERNET (J.-L.) - Anthracologie et paysages forestiers médiévaux : à propos dequatre sites languedociens *In*: *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale*, Tome 99, N°180,1987. Paysages, habitat et vie rurale dans le Languedoc médiéval, pp. 397-405.

Duval 1989 : DUVAL (P.-M.) – *L'originalité de l'architecture gallo-romaine*. *In* : Travaux sur la Gaule (1946-1986). Rome : Ecole Française de Rome, 1989, pp. 1055-1085.

Elvira, Hernando 1989 : ELVIRA (M.), HERNANDO (L.) - *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Madrid, INIA Monographs, 99 p.

Épaud 2011 : ÉPAUD (F.) - La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges. *Revue Archéologique du Centre de la France*, tome 50, 2011, pp. 501-554.

Épaud 2017 : ÉPAUD (F.) - *La charpente de la cathédrale de Bourges : de la forêt au chantier.* Ed. Francois Rabelais, collection : Perspectives Historiques, Presses universitaires François-Rabelais, Tours, 184 p.

Excoffon 2003 : EXCOFFON (P.) - *La pierre. In* : *L'homme et son milieu dans l'antiquité, 1000 ans d'exploitation des ressources naturelles dans le Var (IVe siècle avant-VIe siècle après J.-C.)*. Musée d'art de Toulon, Centre Archéologique du Var (C.A.V.), 2003, pp. 28-33.

Excoffon, Cordonnier 2012 : EXCOFFON (P.), CORDONNIER (J.) - Fréjus Ilot Camelin, *Notice BSR 2012*, pp. 188-189.

Excoffon *et al.* 2013 : P. Excoffon, G. Gaucher, C. Joncheray, Fréjus, Îlot Camelin, *BSR-PACA*, 2013, 162-163.

Excoffon *et al.* 2015 : EXCOFFON (P.), FOY (D.), ROUSSEL-ODE (J.) - Les verres de l'îlot Camelin à Fréjus (Var). Un aperçu du mobilier des Ier et IIe siècles ap. J.-C., *Bull. AFAV*, 2015, 22-31.

Excoffon 2015a : EXCOFFON (P.) (dir.) - *École des Poiriers, Fréjus (Var), Rapport final d'opération,* volume I : Résultats archéologiques Ville de Fréjus, décembre 2015 511 p.

Excoffon 2015b : EXCOFFON (P.) (dir.) - *École des Poiriers, Fréjus (Var), Rapport final d'opération*, volume II : études. Ville de Fréjus, décembre 2015, 545 p.

Excoffon, Vauxion 2016 : EXCOFFON (P.), VAUXION (O.) - Les enduits peints de l'îlot Camelin à Fréjus, dans *Peintures murales et stucs d'époque romaine : une archéologie du décor*, AFPMA, 2016, 61-76.

Excoffon *et ali*. 2016 : EXCOFFON (P.), LEMOINE (Y.), GAUCHER (G.), PELLEGRINO (E.), JONCHERAY (C.), LEGUILLOUX (M.) - Un foyer, des amphores et une poêle à frire… un espace culinaire à Fréjus dans Histoires matérielles : terre cuite, bois, métal et autres objets. Des pots et des potes : Mélanges offerts à Lucien Rivet, *Archéologie et Histoire Romaine,* 33, 2016, pp. 349-358.

Excoffon, Gaucher 2017 : EXCOFFON (P.) GAUCHER (G.) - *Habiter Forum Iulii. La maison romaine à Fréjus d'après les fouilles de l'îlot Camelin et d'autres…*, catalogue de l'exposition, 16 septembre – 10 novembre 2017, Villa Aurélienne, 2017, 62 p

Excoffon, Lemoine 2017 : EXCOFFON (P.), LEMOINE (Y.) - Camelin : une patère campanienne à tête zoomorphe en bronze (Fréjus, Var), *Revue du Centre Archéologique du Var 2015*-2016, 2017, 127-133.

Fauna iberica 1992 : FAUNA IBERICA Vol. 2 – Coleoptera, Anobiidae. Ed. Madrid (Fr.) Español, coll. Departamento de Biologia Animal, Universitad de Barcelona, Museo Nacional de Ciencas Naturales, Consejo Superior de investigaciones cientificas, Madrid, 196 p.

Ferdière *et al.* 2009 : Alain FERDIÈRE, Emmanuel MAROT, Alain TRINTIGNAC, Michel AMANDRY, Caroline BIDEAU, Anne-lise COHEN, Julien COURTOIS, Jane DE ROSE-EVANS, Francesca DI NAPOLI, Mélanie FONDRILLON, Benoît GIRAUD, Thomas GUILLEMARD, Romana HARFOUCHE-POUPET, Aurélien LEFEUVRE, Benoît ODE, Mathilde NOËL, Raffaela PIEROBON-BENOÎT, Grégory POITEVIN and Pierre POUPET - Une petite ville romaine de moyenne montagne, Javols/Anderitum (Lozère), chef-lieu de cité des Gabales: Etat des connaissances (1996-2007). *Gallia* Vol. 66, No. 2 (2009), pp. 171-225.

Feugère, Py 2011 : FEUGERE (M.), PY (M.) - *Dictionnaire des monnaies découvertes en Gaule méditerranéenne (530-27 av. notre ère)*. Ed. Monique Mergoil et bibliothèque Nationale de France, Montagnac-Paris, 2011, 720 p.

Fischer 1937 : FISCHER (R. C.) – *Studies of biology of the death-watch beetle, Xestobium Rufovilosum de Geer.* App. Biol. 27. Aylesbury, Bucks, Received 7 june 1940, 613 p.

Fischesser 1996 : FISCHESSER (B.) – *Connaître les arbres*. Paris, 1996, 351 p.

Florian 1997 : FLORIAN (M. L.) - *Heritage Eaters : insectes and fungi in heritage collection*. Ed. James&James (Science Publischers), London, 164 p.

Fohrer 2011 : FOHRER (F.) – Le diagnostic des infestations en milieu patrimonial : approches techniques et méthodologiques. *In* : *La lettre de l'OCIM*, n°138, novembre-décembre 2011, pp. 31-40.

Fohrer *et al.* 2017 : FOHRER (F.), TORITI (M.), DURAND (A.) - Analyse des vermoulures pour la détermination de quelques espèces d'insectes xylophages de la famille des Ptinidae, *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 2017, pp. 133-142.

Fraval 2008 : FRAVAL (A.) – Les coléoptères du bois ouvré. *Insectes*, n°151, 2008 (4), pp. 29 -33.

Gallay 1982 : GALLAY (A.) - *Habitat et habitation: 2e cours d'initiation*. Genève, société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie, 1982.

Gallay *et al.* 2006 : GALLAY (A.) dir., BULLINGER (J.), CORBOUD (P.), CROTTI (P.), CURDY (P.), DAVID-ELBIALI (M.), KAENEL (G.), KRAMAR (C.), PIGNAT (G.), RACHOUD-SCHNEIDER (A.-M.), STUDER (J.), coll. Benkert (A.), Guélat (M.), Mariéthoz (F.), Moinat (P.), Epiney-Nicoud (C.), Stahl-Gretsch (L.-I.) - *Des Alpes au Léman, images de la Préhistoire*. Bischheim (France), infolio éditions, 2006, pp. 326-350.

Gambetta, Orlandi 1988 : GAMBETTA (A.), ORLANDI (E.) – Penichroa fasciata (Stephens) (Col. Cerambycidae) a pest in wood materials, The international research group on wood preservation, Document N° : IRG/WP.1365, 1988, 3 p.

Gambetta 2010 : GAMBETTA (A.) - *Funghi e insetti nel legno. Diagnosi, prevenzione, controllo* (Italian) Paperback, 2010 Nardini Editore (2010) Libro universitario, 155p.

Gantier 2016 : GANTIER (L.) - Étude dendro-archéologique des bois du quartier Saint-Lupien à Rezé (Loire-Atlantique) : Des premiers aménagements de berge aux structures monumentales. Mémoire de master II sous la direction de Vincent BERNARD, CReAAH, Université de Rennes 2, 2016, 53 p.

Gascou 1983 : GASCOU (J.) - Les dendrophores d'Aix-en-Provence d'après une inscription récemment découverte. *Revue archéologique de Narbonnaise*, tome 16, 1983, pp. 161-169.

Garcia-Martinez, Dufraisse 2012 : GARCIA-MARTINEZ (M.S.), DUFRAISSE (A.) *Correction factors on archaeological wood diameter estimation. In*: E. BADAL, Y. E. CARRION, E. GRAU, M. GARCIA, M. NTINOU - *Wood and charcoal : evidence for human and natural history.* Valencia, Espagne, Saguntum Extra 2012, pp. 283–290.

Gärtner, Schweingruber 2013 : GÄRTNER (H.), SCHWEINGRUBER (F.) - *Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis.* Design & layout by BÖRNER (A.), Birmensdorf, 2013, 78 p.

Gärtner *et al.* 2014 : GÄRTNER (H.), LUCCHINETTI (S.), SCHWEINGRUBER (F. H.) – New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences : the GSL1 – microtome. *Dendrochronologia*, 32, 2014, pp. 47-51.

Ginouvès, Martin 1985 : GINOUVES (R.), MARTIN (R.) - *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*. Tome I. Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor. Rome : École Française de Rome, 84, 1985. pp. 7-307.

Giustina 1985 : GIUSTINA (G. D.) – *La pathologie des charpentes en bois, causes des désordres et remèdes.* Ed. du Moniteur, 1985, 143 p.

Golosetti 2007 : GOLOSETTI (R.), coll. DUMAS (V.), MOCCI (F.), WALSH (K.), - *Rapport de la campagne de fouilles archéologiques sur le col d'Adon (Les Mujouls, 06), année 2007*. Aix en Provence, S.R.A.-P.A.C.A., 2007, 58 p.

Golosetti 2008 : GOLOSETTI (R.), coll. DUMAS (V.), MOCCI (F.), WALSH (K.), GATTACCECA (J.), MATHÉ (P.-E.) - *Rapport de la campagne de fouilles archéologiques sur le col d'Adon (Les Mujouls, 06), année 2008*. Aix en Provence, S.R.A.-P.A.C.A., 2008, 74 p.

Golosetti 2009 : GOLOSETTI (R.), coll. DUMAS (V.), MOCCI (F.), WALSH (K.), GATTACCECA (J.), MATHÉ (P.-E.) - *Rapport de la campagne de fouilles archéologiques sur le col d'Adon (Les Mujouls, 06), année 2009*. Aix en Provence, S.R.A.-P.A.C.A., 2009, 73 p.

Golosetti 2010 : coll. DUMAS (V.), MOCCI (F.), WALSH (K.), GATTACCECA (J.), MATHÉ (P.-E.) - *Rapport final d'opérations archéologiques sur le col d'Adon (Les Mujouls, 06), années 2008-2010*. Aix en Provence, S.R.A.-P.A.C.A., 2010, 160 p.

Golosetti 2016 : GOLOSETTI (R.) - *Archéologie d'un paysage religieux. Sanctuaires et cultes du Sud-Est de la Gaule (Ve s. av. J.-C. - IVe s. ap. J.-C.)*. Venosa, Osanna Ed., coll. archeologia nuova, 540 p.

Goudineau 1998 : GOUDINEAU (C.) - *Regard sur la Gaule.* Paris, éd Errance, 1998, 379 p.

Gourevitch 2005 : GOUREVITCH (D.) – Le pain des romains à l'apogée de l'empire : bilan entomo- et botano-archéologique. Communication *In:* Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 149e année, N. 1, 2005. pp. 27-47.

Goossens 1948 : GOOSSENS (R.) - Identification de l'insecte appelé κεράμβυξ. *In*: *L'antiquité classique*, Tome 17, fasc. 1, 1948. Miscellanea Philologica Historica et archaelogia in honorem Hvberti Van De Weerd. pp. 263-267.

Grall *et al.* 2015a : GRALL (M.) (dir.), BERTRAND (I.), COUTELAS (A.), GENIS (C.), LE BOMIN (J.), MORELLE (N.), SOULAS (S.), TENDRON (G.) - PCR Cassinomagus 2015-2017, l'agglomération et son ensemble monumental : chronologie, organisation et techniques. L'agglomération antique de Cassinomagus : le quartier du Grand Villard. Rapport intermédiaire de fouille programmée 2015. Volume 1 : description, études et synthèse, 164 p.

Grall *et al.* 2015b : GRALL (M.) (dir.), BERTRAND (I.), COUTELAS (A.), GENIS (C.), LE BOMIN (J.), MORELLE (N.), SOULAS (S.), TENDRON (G.) - PCR Cassinomagus 2015-2017, l'agglomération et son ensemble monumental : chronologie, organisation et techniques. L'agglomération antique de Cassinomagus : le quartier du Grand Villard. Rapport intermédiaire de fouille programmée 2015. Volume 2 : figures et annexes, 287 p.

Grenier 1957 : GRENIER (A.) – *Quelques traits originaux de l'architecture gallo-romaine*. Compte-rendu des séances de l'Académie des inscriptions et Belles-Lettres, 101e année, N. 3, 1957, pp. 258-274.

Guibal 1996 : GUIBAL (F.) - Remarques sur quelques difficultés propres à la dendrochronologie en France méditerranéenne, *Revue d'archéométrie*, Supplément Colloque d'archéométrie, Périgueux, 1996, p. 39-43.

Guilaine *et al.* 1991 : GUILAINE (J.) (dir.), FERDIÈRE (A.), Guy (M.), PASSELAC (M.), PESEZ (J.-M.), ZADORA-RIO (É), LEWUILLON (S.), PERREIN (Chr.), BLANCHEMANCHE (Ph.), FIRMIN (G.) - *Pour une archéologie agraire*, ed. Armand colin, Paris, 1991, 576 p.

Guillon 2014 : GUILLON (S.) - *Dynamique de la végétation alluviale côtière dans le Sud-Est de la France (bassins versants du Loup et de la Cagne, Alpes-Maritimes) au cours de la première moitié de l'Holocène*. Thèse Archéologie et Préhistoire sous la direction de D. BINDER et de H. RICHARD, soutenue en mars 2014. Université Nice Sophia Antipolis, 2014, 394 p.

Guiot *et ali.* 1999 : GUIOT (J.), BEAULIEU (J.-L.), BÉGEOT (C.), BOSSUET (G.) , BRUGIAPAGLIA (E.), CARCAILLET (C.), CHEDDADI (R.), EDOUARD (J.-L.), GACHET (S.), GADBIN (C.) , GUIBAL (F.), JOLLY (D.), KELLER (T.), MAGNY (M.), NAKAGAWA (T.), NICAULT (A.), PONEL (Ph.), RATHGEBER (C.), SCHOELLAMMER (P.), RICHARD (H.), ROCHE (P.), RUFFALDI (P.), TALON (B.) - Variations depuis 10000 ans de la répartition et de la productivité des forêts d'altitude dans les Alpes et le Jura et simulation des changements futurs. *Article du projet PEVS-SEAH* / facteurs historiques (non publié) - 1999.

Guitton *et al.* 2014 : GUITTON (D.), MOUCHARD (J.), FAVREAU (X.), MENEZ (M.), YACGER (M.) - *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien. Fouille programmée 2013-2015.* Rapport Intermédiaire 2013. Travaux coordonnés par D. GUITTON et J. MOUCHARD. Volume I-3 Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 1 : texte et illustrations. Avec les contributions de : R. ARTHUIS, A. BORVON, A. GANNE, E. GOUBERT, Y. GRUET, S. JUPIN, Y. LE DIGOL, M. MONTEIL, E. NEVEU, O. DE PERETTI, N. SAEDLOU. Février 2014, 130 p.

Guitton *et al.* 2015a : GUITTON (D.), MOUCHARD (J.), FAVREAU (X.), MENEZ (M.), YACGER (M.) - *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien. Fouille programmée 2013-2015.* Rapport Intermédiaire. Travaux coordonnés par D. GUITTON et J. MOUCHARD. Volume I-3 Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 1 : texte et illustrations. Avec les contributions de : R. ARTHUIS, J.-G. AUBERT, I. BERTRAND, A. BORVON, B.-N. CHAGNY, M.-F. DIETSCH-SELLAMI, F. EPAUD, A. GANNE, E. GOUBERT, Y. LE DIGOL, Ch. LEROYER, T. MAISONNEUVE, V. MATHÉ, M. MONTEIL, D. PÉCRÉAUX. Février 2015, 223 p.

Guitton *et al.* 2015b : GUITTON (D.), MOUCHARD (J.), FAVREAU (X.), MENEZ (M.), YACGER (M.) - *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien. Fouille programmée 2013-2015.* Rapport Intermédiaire. Travaux coordonnés par D. GUITTON et J. MOUCHARD. Volume I-3 Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 2 : études spécialisées. Avec les contributions de : R. ARTHUIS, J.-G. AUBERT, I. BERTRAND, A. BORVON, B.-N. CHAGNY, M.-F. DIETSCH-SELLAMI, F. EPAUD, A. GANNE, E. GOUBERT, Y. LE DIGOL, Ch. LEROYER, T. MAISONNEUVE, V. MATHÉ, M. MONTEIL, D. PÉCRÉAUX. Février 2015, 212 p.

Guitton *et al.* 2016a : GUITTON (D.), MOUCHARD (J.), FAVREAU (X.), MONTEIL (M.), YACGER (M.) - *l'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien. Fouille programmée 2013-2015.* Travaux coordonnés par D. GUITTON et J. MOUCHARD. Volume I-4 Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 1 : texte et illustrations. Avec les contributions de : R. ARTHUIS, I. BERTRAND, A. BORVON, P. CERVELLIN, B.-N. CHAGNY, M.-F. DIETSCH-SELLAMI, B. DUFOUR, F. EPAUD, L. GANTIER, M. LE BAILLY, Y. LE DIGOL, C. MAICHER, D. PÉCRÉAUX, N. SAEDLOU, M. TORITI. Février 2016, 340 p.

Guitton *et al.* 2016b : GUITTON (D.), MOUCHARD (J.), FAVREAU (X.), MONTEIL (M.), YACGER (M.) - *l'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien.*

Fouille programmée 2013-2015. Travaux coordonnés par D. GUITTON et J. MOUCHARD. Volume I-4 Les Aménagements de berge (zone 4). Tome 2 : études spécialisées. Avec les contributions de : R. ARTHUIS, I. BERTRAND, A. BORVON, P. CERVELLIN, B.-N. CHAGNY, M.-F. DIETSCH-SELLAMI, B. DUFOUR, F. EPAUD, L. GANTIER, M. LE BAILLY, Y. LE DIGOL, C. MAICHER, D. PÉCRÉAUX, N. SAEDLOU, M. TORITI. Février 2016, 212 p.

Gunn 2011 : GUNN (M.) – La désinsectisation des biens patrimoniaux par la chaleur. La lettre de l'OCIM, Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques, 138, novembre-décembre 2011, pp. 41-47.

Harris 2011 : HARRIS (W. V.) - Bois et déboisement dans la Méditerranée antique, *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 2011, 1 (66e année), Éditions de l'EHESS, pp. 105-140.

Hedges 2012 : HEDGES (S. B.) – Wormholes record species history in space and time. *Biology letters 9*, Feb. 23, 2012, Pennsylvania, U.S.A., 20120926, 4 p.

Heinz 1990 : HEINZ (C.), *Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée nord-occidentale d'après l'anthracoanalyse de sites préhistoriques. Méthodologie et paléoécologie*, Thèse de l'université de Montpellier II (Sciences et Techniques du Languedoc), 1988, publiée dans *Paléobiologie continentale*, vol.16, n°2, 1990.

Henry, Théry-Parisot 2014 : HENRY (A.), THÉRY-PARISOT (I.) - From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotten wood as fuel. Journal of Archaeological Science 52 (2014), pp. 312-336.

Hickin 1967 : HICKIN (N. E.) – *The conservation of building timbers*. The Rentokil library, Hutchinson of London, London, 1967, 140 p.

Hickin 1971 : HICKIN (N. E.) – *Termites : a world problem*. The Rentokil library, Hutchinson of London, London, 1971, 232 p.

Hourcade et al. 2011 : HOURCADE (D.), DOULAN (C.), LAÜT (L.), ROCQUE (G.), SICARD (S.) - À l'ouest d'Augustoritum, du nouveau sur Cassinomagus (Chassenon, Charente). Revue du centre d'histoire « espaces et cultures », *Siècles*, 33-34, 2011, 17p.

Jonnard 2012 : JONNARD (Ph.) - Préparation des échantillons pour MEB et microanalyses. Édité par Ph. JONNARD avec la collaboration de F. BRISSET, Edp Sciences. Publication du Groupement National de Microscopie électronique à Balayage et de Microanalyses, Paris, 2012, 232 p.

Jorda *et al.* 2008 : JORDA (Chr.), CHABAL (L.), BLANCHEMANCHE (Ph.), FAUDUET (I.), ODENHARDT-DONVEZ (I.) - *Lattara* entre terres et eaux : paléogéographie et paléoboisements autour du port protohistorique. *In*: *Gallia*, tome 65, 2008. pp. 11-21.

Jullien 2008 : JULLIEN (J.) – Insectes xylophages en pépinière de jeune plant. *In* : *PHM, Revue Horticole*, la revue technique des pépiniéristes, horticulteurs et maraîchers, décembre 2008, pp. 14-20.

Keller 1994 : KELLER (R.) – *La constitution du bois. In* : *Le Bois, matériau d'ingénierie*. Nancy, pp. 13.

Kenward, Carrott 2006 : KENWARD (H.), CARROTT (J.) - Insect species associations characterise past occupation sites. *Journal of Archaeological Science,* 33, 2006, pp. 1452-1473.

Kenward 2006 : KENWARD (H.) - The visibility of past trees and woodland: testing the value of insect remains. *Journal of Archaeological Science*, 33, 2006, pp. 1368-1380.

Kingsley *et al.* 2001 : KINGSLEY (H.), PINNIGER (D.), XAVIER-ROWE (A.), WINSOR (P.) (dir.) - *Integrated pest management for collections. Proceedings of 2001 : a pest odyssey*. English Heritage, 2001, 150 p.

Kollmann, Côté 1968 : KOLLMANN (F.), CÔTE (W. A.) – Principes of wood science and technology. I. Solid wood, 1. Springer-verlag. New York, 1968, 592 p.

Kurtz, Harris 1962 : KURTZ (O'Deal L.), HARRIS (K. L.) - *Micro-analytical Entomology for Food Sanitation Control.* Association of Official Agricultural Chemists, 1962, Washington, 576 p.

Laclos, Büche 2008 : LACLOS (E.), BÜCHE (B.) – La vrillette sans peine : première note (*coleoptera Anobiidae*). In : *L'entomologiste, revue d'amateurs*, publiée sous légide de la Société entomologique de France, numéro 1, janvier-février 2008, Tome 64.

Lasfargues 1985 : LASFARGUES (J.) Dir. - *Architecture de terre et de bois, l'habitat privé des provinces occidentales du monde romain. Antécédents et prolongements: protohistoire, Moyen Âge et quelques exemples contemporain.* Paris, éd. Maison des Sciences de l'Homme, 1985, actes du 2e congrès archéologique de Gaule méridionale (Lyon, 2-6/11/1983), 191 p.

Lavisci 2001 : LAVISCI (P.) - Pathologies des structures en bois : analyse des caractéristiques physiques et mécaniques des collages structuraux pour la restauration des charpentes. Thèse de doctorat en Science du bois sous la direction de P. TRIBOULOT, soutenue en 2001 à Nancy 1, 171 p.

Le Cloirec 2016a : LE CLOIREC (G.) (Dir.) - *Rennes, Ille-et-Vilaine, couvent des Jacobins. Du quartier antique à l'établissement dominicain.* Volume 1, novembre 2016, 193 p.

Le Cloirec 2016b : LE CLOIREC (G.) (Dir.) - *Rennes, Ille-et-Vilaine, couvent des Jacobins. Du quartier antique à l'établissement dominicain.* Volume 2, novembre 2016, 441 p.

Le Cloirec 2016c : LE CLOIREC (G.) (Dir.) - *Rennes, Ille-et-Vilaine, couvent des Jacobins. Du quartier antique à l'établissement dominicain.* Volume 3, novembre 2016, 239 p.

Le Cloirec 2016d : LE CLOIREC (G.) (Dir.) - *Rennes, Ille-et-Vilaine, couvent des Jacobins. Du quartier antique à l'établissement dominicain.* Volume 7 : études complémentaires, novembre 2016, 388 p.

Le Conte *et al.* 2014 : LE CONTE (S.), VAIEDELICH (S.), THOMAS (J.-H.), MULAVIA (V), DE REYER (D), MAURIN (E.) – Acoustic emission to detect xylophagous insects in wooden musical instrument. *Journal of Cultural Heritage*, in press version, 2014, 6 p.

Lemoine 2015 : LEMOINE (G.) - *Rapport final : traitement des objets en bois gorgé d'eau de la porte-Allain, Trégueux (22)* Lot 1 (devis D132-331/12), Rapport Arc'Antique, 2015, 16 p.

Lepesme 1944 : LEPESME (P.) – *Les coléoptères, des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés*. Paris, éd. Paul Lechevalier, 124 p., 233 fig., 12 planches.

Leroux 2008 : LEROUX (G.) - *Rocade d'agglomération de Saint-Brieuc (Bretagne - Grand-Ouest) Trégueux section "La Crarée - Le Perray", Diagnostic Archéologique.* avec la collaboration d'A. DESFONDS, M. DINARD, F. LA BAUNE, J et J FREITAS, Mars-juin 2008, 109 p.

Leveau, Rémy 2008 : LEVEAU (P.) et REMY (B.) dir. - *La ville des Alpes occidentales à l'époque romaine.* Grenoble, éd. les cahiers du CRHIPA, n°13, 2008, actes du colloque international de l'université Pierre Mendès France (Grenoble, 6-7-8/10/2006), 399 p.

Leveau *et al.* 2009 : LEVEAU (P.), RAYNAUD (C.), SABLAYROLLES (R.), TREMENT (F.) – *Les formes de l'habitat rural gallo-romain : terminologies et typologies à l'épreuve des réalités archéologiques*. Bordeaux, éd. Pessac : Fédération Aquitania. Colloque AGER VIII, Toulouse 2007, supplément 17, 396 p.

Loreau 1994 : LOREAU (P.) – Du bois au charbon de bois : approche expérimentale de la combustion. Montpellier II, Mémoire de master, 64 p.

Ludemann 2006 : LUDEMANN (T.) - Anthracological analysis of recent charcoal-burning in the Black Forest, SW Germany. *In* : DUFRAISSE (A.) - Charcoal analysis : New Analytical tools and methods for archaeology. Papers from the Table-Ronde held in Basel 2004 - *BAR International Series* 1483, 2006, pp. 47-58.

Ludemann 2008 : LUDEMANN (T.) - Experimental charcoal-burning with special regard to anthracological wood diameter analysis. *In* : FIORENTINO (G.), MAGRI (D.) - Charcoals from the Past : Cultural and Palaeoenvironmental implications. Proceedings of the third International Meeting of Anthracology, Cavallino, Lecce (Italy), June 28th - July 1st 2004, *BAR International Series 1807*, 2008, pp. 147-157.

Marcadé 1974 : MARCADÉ (J.) – *Bois : Le bois dans l'archéologie, l'architecture antique et le bois, le commerce et le travail du bois, la sculpture du bois, l'ébénisterie égyptienne*. Genève, Paris, Munich, éd. Nagel, 1974, 64 p.

Marguerie, Hunot 2007 : MARGUERIE (D.), HUNOT (J.-Y) – Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-werstern France. *Journal of Archaeological Science*, 34, 2007, pp. 1417-1433.

Marguerie *et ali.* 2010 : MARGUERIE (D.), BERNARD (V.), BEGIN (Y.), TERRAL (J.-F.) - *Dendroanthracologie*. *In* : PAYETTE (S.), FILION (L.), dir. - *La dendroécologie. Principes, méthodes et applications*. Québec, éd. Presses de l'Université de Laval (P.U.L.), 2010, pp. 311-347.

Martinez 2008 : MARTINEZ (M.) – Les insectes xylophages : Qui sont-ils ? Que mangent-ils ? *In* : *PHM, Revue Horticole*, la revue technique des pépiniéristes, horticulteurs et maraîchers, décembre 2008, pp. 11-13.

Martinez 2012 : MARTINEZ (M.) – Les insectes ravageurs : commentaires généraux, liste et présentation des ordres, en particulier ceux d'importance agronomique en France. *In* : *Introduction à l'entomologie agricole*, s.l, 32 p.

McParland *et al.* 2010 : McPARLAND (L.C.), COLLINSON (M.E.), SCOTT (A.C.), CAMPBELL (G.), VEAL (R.) - Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science,* 37, 2010, pp. 2679-2687.

Mercuzot 1997 : MERCUZOT (A.) – *Guide des outils et objets domestiques*. *Identification, Restauration.* Ed. Jean-Cyrille Godefroy, Paris, 1997, 283 p.

Meusnier *et al.* 2017 : MEUSNIER (I.), MARTINEZ (M.), FOHRER (F.) - *Utilisation des outils moléculaires pour l'identification des insectes nuisibles au patrimoine : du rêve à la réalité.* Monographie du colloque Croqueurs de patrimoine : les infestations entomologiques : enjeux d'aujourd'hui, politique de demain ; les dossiers de l'Ocim, décembre 2017, p. 195-208.

Mocci 2008 : MOCCI (F.) dir. - *Archéologie et paléoenvironnement dans les Alpes méridionales françaises, hauts massifs de l'Argentiérois, du Champsaur et de l'Ubaye, Haute-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence, Néolothique final-début de l'Antiquité.* Le Bourget-du-lac, éd. Edytem, 2009, 272 p.

Mocci *et al.* 2010 : MOCCI (F.), SEGARD (M.), WALSH (K.), GOLOSETTI (R.), coll. Dumas (V.), Cenzon-Salvayre (C.), Talon (B.) - *Données récentes sur l'occupation humaine dans les Alpes méridionales durant l'Antiquité*. *In* : TZORTZIS (S.), DELESTRE (X.) - *Archéologie de la montagne européenne.* Paris, éd. Errance, Centre Camille Jullian, actes de la table ronde internationale de Gap (29/09-01/10/2008), pp. 309-323.

Moret 1998 : MORET (P.) – L'archéo-entomologie, ou les insectes au service de l'histoire. *Revue médiévale Vét*., 1998, 149, 11, pp. 995-998.

Moskal-del Hoyo *et al.* 2010 : MOSKAL-DEL HOYO (M.),WACHOWIAK (M.), BLANCHETTE (R.A.) - Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Achaeological Science*, 37, 2010, pp. 2106-2116.

Mulliez 1982 : MULLIEZ (D.) – Notes sur le transport du bois. *Bulletin de correspondance hellénique.* Volume 106, livraison 1, 1982, pp. 107-118.

Nageleisen, Bouget 2009 : NAGELEISEN (L.-M.), BOUGET (C.) - *L'étude des insectes en forêt : méthodes et techniques, éléments essentiels pour une standardisation : synthèse des*

réflexions menées par le groupe de travail « Inventaires Entomologiques en Forêt ». Les Dossiers Forestiers n°19, Office National des Forêts, Fontainebleau, 2009, 144 p.

Nageleisen *et al.* 2010 : NAGELEISEN (L.-M.), SAINTONGE (F.-X.), PIOU (D.), RIOU-NIVERT (Ph.) - La santé des forêts. Maladies, insectes, accidents climatiques... Diagnostic et prévention. Département de la santé des forêts. Institut pour le développement forestier, Paris, 2010, 608 p.

Nelle 2002 : NELLE (O.) - Charcoal burning remains and forest stand structure – examples from the Black Forest (SW-Germany) and the Bavarian Forest (SE-Germany). *In* : Thiébault (dir.) Charcoal analysis : methodological approaches, palaeoecological results ans wood uses. Proceedings of the second international meeting of anthracology, paris, september 2000, *BAR International Series 1063*, 2002, pp. 201-207.

Nelle 2008 : NELLE (O.) - Combining charcoal and pollen analysis : Holocene vegetation dynamics, tree species composition and woodland use in the Bavarian Forest. *In* : FIORENTINO (G.), MAGRI (D.) - Charcoals from the Past : Cultural and Palaeoenvironmental implications. Proceedings of the third International Meeting of Anthracology, Cavallino, Lecce (Italy), June 28th - July 1st 2004, *BAR International Series 1807*, 2008, pp. 183-191.

Nepveu 1994 : NEPVEU (G.) – *Variabilité. In* : *Le Bois, matériau d'ingénierie*. Nancy, pp. 127-199.

Noël, Bocquet 1987 : NOËL (M.), BOCQUET (A.) – *Les hommes et le bois. Histoire et technologie du bois de la Préhistoire à nos jours.* Poitiers, éd. Hachette, 1987, 347 p.

Pacaud 1996 : PACAUD (G.) – La désinsectisation par le froid. *La lettre de l'OCIM*, n°47, 1996, pp. 30-33.

Pacaud 1998 : PACAUD (G.) – Aperçu sur la désinsectisation par anoxie sous atmosphère inerte. *La lettre de l'OCIM*, n°58, 1998, pp. 26-36.

Paccolat 1998 : PACCOLAT (O.) - *Habiter en Valais. In* : WIBLE (F.), CURDY (P.), PACCOLAT (O.), HALDIMANN (M.-A) - *Vallis Poenina : Le valais à l'époque romaine, du Ier au Ve siècle après J.-C.* Sion, éd. du Musée cantonale d'archéologie, 1998, pp. 67-75.

Palma, Santhakumaran 2014 : PALMA (P.), SANTHAKUMARAN (L. N.) - *Shipwrecks and global worming*. Archaeopress, Oxford, 2014, 65 p.

Paradis-Grenouillet *et al.* 2010 : PARADIS-GRENOUILLET (S.), LELEU (J.-P.), BELINGARD (C.), ROUAUD (R.), ALLEE (P.) – AnthracoLoJ, un outil pour la simplification des mesures dendrométriques. *In* : ASTRADE (L.), MIRAMONT (C.) Dir. - *Panorama de la dendrochronologie en France*. Dignes-les-Bains, collection Edytem, n°11, 2010, actes du colloque « *Panorama de la dendrochronologie en France* » (Dignes-les-Bains, 8-9-10/10/2009, Alpes de Haute Provence), pp. 199-204.

Paradis-Grenouillet 2012 : PARADIS-GRENOUILLET (S.) - *Etudier les « forêts métallurgiques » : analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques. Exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin*. Thèse dirigée par Philippe Allée et Marie-Claude Bal-Serin. Soutenue le 16 novembre 2012, Université de Limoges, 458 p.

Paulian 1988 : PAULIAN (R.) – *Biologie des coléoptères*. Centre National des lettres. Editions Lechevalier, Paris, 1988, 719 p.

Paunier *et al.* 1989 : PAUNIER (D.) BERNAL(J.), CASTELLA (D.), FLUTSCH (L.), GARDIOL (J.-B.), ROSSI (F.), coll. Olive (C.), Cottier (M.) - *Le vicus gallo-romain de Lousonna-Vidy : le quartier occidental, le sanctuaire indigène. Rapport préliminaire sur la campagne de fouilles, 1985*. Lausanne, éd. Cahier d'Archéologie Romande, Lousonna 7, n°42, 1989, 191 p.

Pearce 2000 : PEARCE (M. J.) - Termites : biology and pest management. Formerly of the Natural Resources institute Chatham, Kent, UK. CAB International, 2000, Cambridge, 142 p.

Pellegrin 1982 : PELLEGRIN (P.) – La classification des animaux chez Aristote

Pétrequin 1991 : PÉTREQUIN (P. - *Construire une maison 3000 ans av. J.-C. Le lac de Chalain au Néolithique*. Archéologie de Franche-Comté, Ed. Errance, Paris, 75 p.

Pilon 2015 : PILON (F.) (dir.) - *Châteaubleau (77) / Le Haut Chemin, parcelles A 239 et ZA 103 – Théâtre gallo-romain (Programme 2013-2015), Rapport Final d'Opération.* Service Régional de l'Archéologie d'Île-de-France, Association La Riobé, 2015, 2 vol. Vol. 1 : Synthèse des recherches et études spécialisées, 403 p. ; Vol. 2 : Documents associés, 484 p.

Pillonel 2007 : PILLONEL (D.) – *Technologie et usages du bois au Bronze final*. Neuchâtel, éd. Office et Musée Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel, 2007, 322 p.

Pillonel, Reginelli Servais 2007 : PILLONEL (D.), REGINELLI SERVAIS (G.) - *Une image emblématique de La Tène : les bois mortaisés à la lumière de l'analyse technologique. In* : Le site de La Tène : bilan des connaissances - état de la question : actes de la table ronde internationale de Neuchâtel, novembre 2007. - Hauterive : Office et musée cantonal de Neuchâtel, 2009, p. 37-47.

Pinniger 2001 : PINNIGER (D.) – *Pest Management in Museums, Archives and Historic Houses*. Ed. Archetype Publication, London, 2001, 115 p.

Pitman *et al.* 1993 : PTIMAN (A. J.), JONES (A. M.), GARETH JONES (E. B.) - The wharf-borer *Nacerdes Melanura* L., a threat to stored archaeological timbers. *Studies in conservation*, 38, 1993, pp. 274-284.

Poirier 2000 : POIRIER (P.) - Architecture, combustibles et environnement des thermes de Chassenon : l'apport de l'anthracologie. *Aquitania*, T. XVI, Ed. Fed. Aquitania, Bordeaux, pp. 179-181.

Poirier 2011 : POIRIER (P.) - *15 ans d'application de l'anthracologie dans le Centre-Ouest de la France : Méthodes, principaux résultats et perspectives de recherches*, BSR Poitou-Charentes, SRA, Poitiers, 273-287.

Ponel, Yvinec 1997 : PONEL (Ph.), YVINEC (J.-H.) - L'archéomentomologie en France. *Les nouvelles de l'archéologie*, n°68, 31-37.

Ponel 2007 : PONEL (P.) - *Les insectes subfossiles des lacs et des tourbières, des indicateurs originaux et méconnus pour reconstruire le passé des forêts alpines. In*: BERNARDI (P.) dir. - F*orêts alpines et charpentes de Méditerranée*. Exposition créée au musée muséum départementale, en partenariat avec la région Provence-Alpes-Côte-D'Azur et le Laboratoire d'Archéologie Médiévale Méditerranéenne (LAMM). Gap, éd. du Fournel, 2007, pp. 22-26.

Py 2009 : PY (V.) - *thèse de doctorat : Mine, Bois et Forêt dans les Alpes du Sud au Moyen Âge, approches archéologique, bioarchéologique et historique.* Sous la direction de Fixot (M.) et de Durand (A.), Aix-Marseille I, 2009, 3 vol. 1555 p.

Py 2011 : PY (V.) - *Châteaubleau « Le théâtre» (77). Le combustible du four à chaux (faits 32 et 52). Rapport de l'analyse anthracologique.* Arkeosite, laboratoire d'étude du bois et du charbon de bois archéologiques. Aix en Provence/Naveil, Septembre 2011, 22 p.

Ramponi, Thiebault 1995 : RAMPONI (C.), THIEBAULT (S.) - *Analyse des charbons de bois issus de la fouille de sauvetage du 18, CH. Des Fins à Annecy (Haute-Savoie). In* : BEAL (J.-C.) - *L'arbre et la forêt, le bois dans l'antiquité.* Paris, éd. De Boccard, 1995 (publication de la bibliothèque Salomon-Reinach), pp. 93-97.

Riesco Muñoz *et al.* 2014 : RIESCO MUÑOZ (G.), REMACHA GETE (A.), GASALLA REGUEIRO (M.) - Sawing yield in oak (*Quercus robur*) wood affected by insect damage. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86, 2014, pp. 102-107.

Rivet *et al.* 2000 : RIVET (L.), BRENTCHALOFF (D.), ROUCOLE (S.), SAULNIER (S.) - Atlas topographique des villes de Gaule méridionale. 2- Fréjus. suppl. 32 à la RANarb, Montpellier, 2000, 509 p.

Rougier-Blanc 2011 : ROUGIER-BLANC (S.) – Le bois et ses usages dans le De architectura de Vitruve. *Cahiers des études anciennes*, XLVIII/2011, pp. 89-117.

Saedlou 2011 : SAEDLOU (N.) - *Découverte exceptionnelle de l'âge du Fer. Objets en bois de Trégueux (Côte d'Armor) : études typologiques, tracéologiques et xylologiques. Analogies bibliographiques*. Rapport 2011 Xylotree, 125 p.

Samson *et al.* 2002 : SAMSON (R. A.), HOEKSTRA (E. S.), FRISVAD (J. C.), FILTENBORG (O.) (dir.) – Introduction to food-and airborne fungi. 6e édition, Centraalbureau voor schimmelcultures, An institute of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Utrecht, 2002, 389 p.

Segard 2009 : SEGARD (M.) - *Les alpes occidentales romaines: développement urbain et exploitation des ressources des régions de montagnes (Gaule narbonnaise, Italie, Provinces alpines).* Aix en Provence, éd. Errance, 2009 (Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine-2), 287 p.

Serment 1981 : SERMENT (M. M.) – The most important wood-destroying insects in various countries (results of questionnaire), Centre technique du bois, Paris, The international Research group of wood preservation, biological problems, document n° IRG/WP/1136, 1981, 23 p.

Shasmoukine 1980 : SHASMOUKINE (A.), SHASMOUKINE (P.) – Construire en bois. Par l'I.R.I., Collection AnArchitecture, ed. Alternative et Parallèles, Paris, 157 p.

Schoch 2008 : SCHOCH (W. H.) - *L'étude anthracologique. In* : MASSEREY (C.), (dir.), ADAM (A.-M.), AUBRY (D.), ESCHENLOHR (L.), GUILLAUMET (J.-P.), JACQUAT (C.), JOYE (C.), HEDLEY (I.G.), OLIVE (C.), THIERRIN-MICHAEL (G.), REBMANN (T.), SCHOCH (W.H.), THÜRING (B.) - *Un habitat de la Tène ancienne à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Porrentruy, éd. Office de la culture, société Jurassienne d'Emulation (Cahier d'archéologie jurassienne 11), pp. 202-205.

Smart, Hoffman 1988 : SMART (T. L.), HOFFMAN (E. S.) - *Environmental interpretation of archaeological charcoal. In* **:** HASTORF (Ch. A.), POPPER (V. S.) - *Current Paleoethnobotany : analytical methods and cultural interpretations of archaeological plant remains*. Prehistoric Archeology and Ecology, a serie edited by Karl W. Butzer and Leslie G. Freeman. The University of Chicago Press, Chicago and London, pp. 168-205.

Strang 1997 : STRANG (T. J. K.) – Lutte contre les insectes par exposition au froid. *Notes de l'ICC*, Patrimoine Canadien, 1997, ISSN : 1191-7237, 8 p.

Stušek *et al.* 2000 : STUŠEK (P.), POHLEVEN (F.), DUŠAN (C.) - Detection of wood boring insects by measurement of oxygen consumption. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, 2000, pp. 293-298.

Suzumoto 1992 : SUZUMOTO (A. Y.) – New materials for sealing old crocks. – *Collection Forum*, 8 (2), 1992, pp. 68-72.

Talon 2007 : TALON (B.) – *La limite supérieure de la forêt au cours des derniers millénaires. L'enseignement des charbons de bois conservés dans les sols. In* : Bernardi (Ph.) – Catalogue d'exposition « *Bois et charpente* ». Ed. du Fournel, s.l., 2007, pp. 27-31.

Talon 2010 : TALON (B.) - *Reconstruction of Holocene high-altitude vegetation cover in the French southern Alps : evidence from soil charcoal. Article in The Holocene*, January 2010 DOI: 10.1177/0959683609348842

Tchernia 2011 : TCHERNIA (A.) - *Les Romains et le commerce*. Centre Jean Bérard, Centre Camille Jullian, études VIII, Naples 2011, 436 p.

Théry-Parisot 2001 : THERY-PARISOT (I.) - *Économie des combustibles au paléolithique*. CNRS éditions, CEPAM, Dossier de documentation archéologique n'°20, Paris, 256 p.

Théry-Parisot *et al.* 2008 : THERY-PARISOT (I.), CHABAL (L.), NTINOU (M.), BOUBY (L.), CARRE (A.) - *Du bois aux charbons de bois : approche expérimentale de la combustion*. Revue bilingue de Préhistoire, actes de la table ronde, 27-29 mai 2008, CEPAM, pp. 81-93.

Théry-Parisot, Henry 2011 : THERY-PARISOT (I.), HENRY (A.) - Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science* xxx (2011), pp. 1-8.

Thiébault 1988 : THIEBAULT (S.) - *L'homme et le milieu végétal, analyse anthracologique de six gisements des préalpes au tardi- et post-glaciaire*. Paris, Document d'archéologie française, 15, 1988, 112 p.

Tipper 2012 : TIPPER (J.) – Experimental archaeology and fire : the investigation of a burnt reconstruction at West Stow anglo-saxon village. East Anglian Archaeology. Report No. 146, 2012, 186p.

Tisserand 2011 : TISSERAND (N.) - *Le concept de romanisation peut-il s'appliquer à l'outillage ? In* : REDDÉ (M.) (dir.), BARRAL (PH.), FAVORY (F.), GUILLAUMET (J.-P.), JOLY (M.), MARC (J.-Y.), NOUVEL (P.), NUNINGER (L.), PETIT (CH.). *Aspects de la Romanisation dans l'Est de la Gaule* - Bibracte, 21, 2, Bibracte, 2011, pp. 887-894.

Vaschalde *et al.* 2010 : VASCHALDE (Ch.), THIRIOT (J.), RAMMAH (M.), CHEHAIBI (Z.) – Fours à chaux et chaufourniers en Méditerranée occidentale. Ethnoarchéologie de l'art de cuire la pierre, *in* : *Métiers, savoir-faire et vie professionnelle dans le monde méditerranéen d'après les sources histroriques*. Colloque de l'Institut Supérieur des Métiers du Patrimoine de Tunisie, Tunisie, 2010.

Vaschalde 2011 : VASCHALDE (Chr.) – *Vitrification and craft fire in occidental Mediterranean. Describing characteristics, first results and research hypothesis*. *In* : BADAL (E.), CARRION (Y.), GRAU (E.), GARCIA (M.), NTINOU (M.) (eds) – *Ve international meeting of charcoal analysis. The charcoal as cultural and biological heritage.* Valencia, Saguntum, pp. 19-20.

Vaschalde 2013 : VASCHALDE (Chr.) - L'art de cuire la pierre en France méditerranéenne à la fin du Moyen Âge. Approche interdisciplinaire d'un artisanat méconnu : la chaufournerie. Thèse de doctorat, sous la direction d'aline Durand et de Jacques Thiriot, LA3M, Université d'Aix-Marseille, soutenue en 2013, 650p.

Vernet 1972 : VERNET (J.-L.) - C*ontribution à l'histoire de la végétation du Sud-Est de la France au Quaternaire, étude de macroflores de charbons de bois principalement.* Thèse de maîtrise, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 104 p.

Vernet 1994 : VERNET (J.-L.) – Analyses anthracologiques. *In* : *Gallia préhistoire*, tome 36, 1994, pp. 189-192.

Viscogliosi 2008 : VISCOGLIOSI (A.) – *Parte terza : L'architettura romana*. *In* : BOZZONI (C.), FRANCHETTI PARDO (V.), ORTOLANI (G.), VISCOGLIOSI (A.) – *L'architettura del mondo antico*. Bari (Italie), éd. Laterza, 2008, pp. 241-369.

Winsor *et al.* 2011 : WINSOR (P.), PINNIGER (D.), BACON (L.), CHILD (B.), HARRIS (K.), LAUDER (D.), PHIPPARD (J.), XAVIER-ROWE (A.) – *Integrated pest management for collections. Proceedings of 2011 : a pest odyssey, 10 years later*. English Heritage, 2011, 223 p.

Yela 1997 : YELA (J. L.) – *Insectos causantes de daños al patrimonio historico y cultural : caracterizacion, tipos de daño y méthodos de lucha (Arthropoda : insecta). In* : Los Artropodos y el Hombre, Bol. S.E.A., n°20, 1997, pp. 111-122.