



HAL
open science

De nouveaux outils d'observation et de gestion du patrimoine littoral de Bretagne

Pau Olmos Benlloch, Elias Lopez-Romero, Marie-Yvane Daire, Jean-Baptiste
Barreau

► **To cite this version:**

Pau Olmos Benlloch, Elias Lopez-Romero, Marie-Yvane Daire, Jean-Baptiste Barreau. De nouveaux outils d'observation et de gestion du patrimoine littoral de Bretagne. Colloque International " Connaissance et compréhension des risques côtiers : Aléas, Enjeux, représentations, Gestion ", Jul 2014, Brest, France. pp.234-243. hal-02343712

HAL Id: hal-02343712

<https://univ-rennes.hal.science/hal-02343712>

Submitted on 3 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.

IUEM
Brest

ACTES

COLLOQUE INTERNATIONAL

International Conference

Connaissance et Compréhension des Risques Côtiers :
Aléas, Enjeux, Représentations, Gestion
Coastal Risks : Hazards, Issues,
Representations, Management

Du 3 au 4 juillet 2014

Maquette : Corinne Robert / Com'UBO - Mai 2014 - Crédit photo : Ile Tudy, E. Le Cormec / Geos AEL

TABLE DES ARTICLES PAR THEMATIQUE

LIST OF ARTICLES BY THEMATIC

Thématique Aléas / Hazards Thematic

Dépôts évènementiels holocènes du littoral de la région de Temara-Skhirat (Maroc)	
<i>D. Chahid, A. Lenoble, L. Boudad, B. Van Vliet-Lanoë</i>	21
Enregistrement des tempêtes holocènes en Bretagne : Chronologie, forçages climatiques et implications	
<i>B. Van Vliet-Lanoë, A. Hénaff, J. Goslin, B. Hallégouët, C. Delacourt, A. Penaud, E. le Cornec</i> 3	28
Évaluation de la submersion côtière grâce à une estimation <i>in situ</i> du <i>wave runup</i> sur les côtes basses du Bas-Saint-Laurent, Canada (Québec)	
<i>D. Didier, P. Bernatchez, G. Marie</i>	36
Comprendre les submersions marines et leurs conséquences : L'apport du retour d'expérience Xynthia pour la définition des données à collecter suite à une submersion	
<i>C. Perherin, N. Berenger, L. Bocquier, N. Flouest, S. Moreira</i>	45
Conditions météo-marines et facteurs de prédisposition à l'origine de phénomènes de submersion marine : analyse comparative entre Manche orientale et Mer du Nord méridionale	
<i>A. Maspataud, P. Letortu, S. Costa, O. Cantat, A. Héquette, M.-H. Ruz</i>	53
Apport de l'imagerie satellitaire pour le suivi du trait de côte : Prototypes sur Saint-Pierre-et-Miquelon	
<i>C. Bosc, L. Chandelier, R. Lagnous, P. Laine, A. Roche</i>	63
L'imagerie satellite au service de la caractérisation des aléas et risques littoraux : Détection d'indicateurs géomorphologiques	
<i>A. Dehouck, V. Lafon, A. Robinet, C. Curti, N. Durou, V. Marieu, F. Sabatier, B. Guerinel, C. Vanroye</i>	71
Exposition des îles Wallis et Futuna au risque littoral ; cyclones et tsunamis	
<i>T. Hoibian, D. Labrousse, M. Allenbach, E. Liufau, C. Manry, A. Malau</i>	79
Le projet HOMONIM : Une contribution à l'amélioration de la prévision des submersions marines pour la Vigilance Vagues-Submersion	
<i>D. Jourdan, D. Paradis, A. Pasquet, H. Michaud, F. Gouillon, R. Baraille, L. Biscara, G. Voineson, P. Ohl</i>	88
Recul du trait de côte et migration dunaire dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Littoraux : Disponibilité et qualité des données. Deux cas d'étude : Calvados et Loire- Atlantique	
<i>M. Colin, A. Bolle, P. de Schoesitter</i>	98

Projet VIMERS : Pré-voir les tempêtes majeures à venir pour mieux s’y préparer

A. Roche, G. Jan, R. Sanquer, J. Durand, H. Le Cam, T. Madec, F. Baraer, D. Goutx, Y. Deniaud 107

Réseau Tempête Languedoc-Roussillon : Une démarche régionale pour mieux appréhender les tempêtes marines et leurs impacts sur le littoral

Y. De la Torre, Y. Balouin, H. Heurtefeux, P. Lanzelloti, B. Guérinel, P. Dufresne, C. Garcia..... 115

L’aléa submersion marine sur la rive interne du Bassin d’Arcachon : exposition actuelle, cartographie prévisionnelle et capacité d’atténuation par la restauration des marais salés

F. Bertrand, L. Goeldner-Gianella, B. Anselme, P. Durand, Y.-F. Thomas, A. Sottolichio, N. Sénéchal 124

Présentation de l’International Levee Handbook (ILH) : Traduction de la partie introductive

M. Igigabel, M. Sharp, Y. Deniaud, P. Chassé, R. Tourment, E. Durand, G. Veylon 135

Méthode d’évaluation de l’aléa de rupture d’ouvrages soumis aux sollicitations marines : Application à la protection en enrochements du front de mer de Lacanau

N. Pépin, E. Tena-Davila, A. De Bonviller, J. Dugor..... 143

Enjeux et défis de la vigilance face aux risques côtiers dans des contextes de développement rapide : Présentation du plan régional de prévention des risques côtiers en Afrique de l’Ouest et de la Mission d’Observation du Littoral ouest africain

J.-J. Goussard..... 154

Thématique Enjeux / Issues Thematic

Cyclonic storm-surge risk: a hedonic case study of residential property in Exmouth, Western Australia

R. Roberts, L. E. Beckley and M. Tull..... 164

Développement d’un modèle d’estimation des dommages économiques engendrés par les phénomènes de submersions marines en France métropolitaine

J.-P. Naulin, D. Moncoulon, A. Quantin 176

Évaluation économique des dommages aux habitations liés à la submersion marine : Mise en place de modèles de prédiction des coûts à partir de données d’assurance

C. André, C. Meur-Férec..... 186

Analyses coûts-bénéfices (ACB) littorales : Des aléas aux enjeux... de nouvelles recommandations pour évaluer l’opportunité des projets littoraux

C. Perherin, N. Christin, C. André..... 196

Analyse économique des enjeux exposés aux risques côtiers : application au bâti résidentiel de Bretagne

I. Le Berre, D. Bailly, M. Philippe, Y. Kato 204

Identification et cartographie des zones à risque potentiellement mortel face à la submersion marine : l’indice de V.I.E. appliqué à La Faute-sur-Mer (Vendée, France)

A. Creach, D. Mercier, S. Pardo..... 214

From “Le trait de côte, sentier de transmission des risques côtiers” to the “Public perception of coastal flooding and erosion risk” : A short history from the Theseus project	
<i>J. Baztan, J.-P. Vanderlinden, N. Touili, I. O. Kane</i>	224
De nouveaux outils d'observation et de gestion du patrimoine littoral de la Bretagne	
<i>P. Olmos, E. López-Romero, M.-Y. Daire, J.-B. Barreau</i>	234
"Anticipando la Crecida": Tools for the contribution in risk and disaster management due to southeasterly winds and precipitation floods in "La Ribera" district, Buenos Aires province, Argentina	
<i>D. Moreira, E. Briche, M. Falco, F. A. Robledo, A. Murgida, I. Gatti, M. Duville, H. Partucci, M. Re, E. Lecertura, L. Kazimierski, P. Etala, C. Campetella, J. Ruiz, C. Vera, C. Saulo, C. Simionato, M. Saraceno, M. L. Clara, E. D'Onofrio, W. Dragani, M. Bertolotti, M. Saucedo, R. Vidal</i>	244
Exposition des infrastructures routières de l'Est du Québec (Canada) à l'érosion et à la submersion	
<i>S. Drejza, S. Friesinger, P. Bernatchez</i>	252
ROSCOF : Outil d'aide au recensement des ouvrages et structures côtières de France	
<i>A. Roche, X. Bertrand, H. Poirier</i>	261
Influence de la susceptibilité à l'érosion hydrique des bassins-versants sur l'évolution du rivage : exemples dans le sud de la Nouvelle-Calédonie	
<i>P. Dumas, O. Cohen</i>	269
Exposition des infrastructures à l'érosion côtière : Développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier, Québec, Canada	
<i>C. Fraser, P. Bernatchez, S. Dugas</i>	279
La vulnérabilité face au risque de submersion marine : Exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France)	
<i>E. Chevillot-Miot, D. Mercier</i>	289
L'extension des résidences secondaires sur le littoral de l'archipel de Kerkena : Enjeux et risques	
<i>M. Kebaïli Tarchouna</i>	298
Mise en perspective de la vulnérabilité des enjeux à l'érosion et aux différents types d'inondation sur la partie sableuse du littoral du Languedoc-Roussillon	
<i>P. Sauboua, H. Heurtefeux</i>	309
Thématique Représentations / Representations Thematic	
Entre conscience collective et expertise profane : connaissances et perceptions sociales liées à l'érosion marine à Lacanau en Gironde	
<i>N. Rocle, B. Bouet, S. Chasseriaud</i>	319
Une vision exclusivement technique du littoral, longtemps imputée aux ingénieurs du génie civil, aujourd'hui dépassée. Étude des cas néerlandais, anglais et français	
<i>S. Gueben-Veniere</i>	328

Représentations des risques côtiers et stratégies d'adaptation : une manière d'appréhender la dimension humaine des risques côtiers

E. Michel-Guillou, C. Meur-Férec 339

Perception *versus* représentation du risque de submersion et autres risques : ce que révèle une querelle sémantique

H. Flanquart..... 353

Thématique Acteurs / Stakeholders Thematic

Quand la mer fait le mur : D'Anjouan (Comores) à Yaté (Nouvelle-Calédonie), paroles et actions autour de l'érosion des rivages insulaires

G. David, P. Dumas, L. Lancelot, C. Sabinot, K. Sinane 366

Analyse des solidarités territoriales facilitant l'adaptation à la montée du niveau de la mer : Quelques enseignements issus du projet SOLTER en Languedoc-Roussillon

H. Rey-Valette, Y. Balouin, C. Bazart, C. Bernier Boissard, V. Clément, O. Delanoë, Y. Foucher, B. Guérinel, C. Hérivaux, R. Morvan, J. Rosaz, B. Rulleau, P. Sauboua, M. Willinger 376

Gestion des risques côtiers et émergence de réseaux d'acteurs dans la Péninsule acadienne (Nord-Est du Nouveau-Brunswick)

J. Guillemot..... 386

Productions et circulation des connaissances sur les risques côtiers. L'exemple de la Bretagne

H. Martin-Brelot, F. Chlous 399

Thématique Politiques intégrées et stratégies / Management policies and strategies Thematic

La gestion des risques côtiers : L'évaluation des politiques publiques pour l'optimisation des performances de gestion des risques

S. Defossez 412

How to establish operational recommendations to manage sea flooding risk on a reclaimed coast? Should the inner shore of the Arcachon Bay (Gironde, France) be depolderised or should the dykes be maintained?

L. Goeldner-Gianella, F. Bertrand 421

Quelle gouvernance des risques littoraux aux îles Loyauté (Nouvelle-Calédonie), dans le cadre du réchauffement climatique ?

M. Le Duff, P. Dumas, M. Allenbach 429

Une stratégie régionale en Aquitaine pour la gestion de la bande côtière

A. Gueguen 437

La vulnérabilité des populations de la côte Est du Cotentin 1700-1914 : L'approche historique dans l'analyse des enjeux, de l'aléa et de la gestion du risque de submersion

S. Noël..... 445

Les sociétés antillaises face aux événements extrêmes : L'exemple des cyclones et des submersions (XVII^e- XX^e siècle)	
<i>J. Desarthe</i>	456
L'érosion des falaises côtières en région PACA : une approche interdisciplinaire géologie/sociologie	
<i>C. Claeys, N. Marçot, L. Fissier, J. Giuliano, T. Lebourg, V. Godard, T. Dewez</i>	465
Faisabilité de la relocalisation des activités et des biens menacés par des risques littoraux en France, l'exemple de Lacanau	
<i>M. Renard</i>	475
Liste des Posters / Posters List	485

De nouveaux outils d'observation et de gestion du patrimoine littoral de la Bretagne

Pau Olmos¹, Elias López-Romero², Marie-Yvane Daire³, Jean-Baptiste Barreau⁴

1. Chercheur postdoctoral projet ARVOR, UMR 6566 CReAAH Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu-Bat.24, 35042 Rennes Cedex

pau.olmos-benlloch@univ-rennes1.fr

2. Chercheur postdoctoral Marie Curie, Dept of Archaeology, Durham University South Road Durham DH1 3LE

elias.lopez-romero@durham.ac.uk

3. Directeur de recherche CNRS, UMR 6566 CReAAH Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu-Bat.24, 35042 Rennes Cedex

marie-yvane.daire@univ-rennes1.fr

4. Ingénieur d'étude CNRS, UMR 6566 CReAAH Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu-Bat.24, 35042 Rennes Cedex

jean-baptiste.barreau@univ-rennes1.fr

Résumé.

Les changements climatiques actuels et la pression anthropique affectent de plus en plus les zones côtières. Les côtes de la Manche et de l'Atlantique ne font pas exception et des centaines de sites archéologiques sont ainsi menacés de destruction, du fait de l'accélération de la montée du niveau marin, de l'érosion et de diverses modifications de l'environnement dues à des causes anthropogéniques. Cet article présente le projet ALeRT (Archéologie, Littoral et Réchauffement Terrestre), une approche interdisciplinaire originale visant à établir la vulnérabilité du patrimoine archéologique dans l'Ouest de la France. Une méthodologie originale et des outils dédiés ont été développés pour l'observation des risques et de leur impact sur les sites patrimoniaux. Ces outils ont récemment été intégrés dans une démarche de recherche collaborative en réseau.

Abstract.

Climate change and anthropogenic pressure increasingly affect the coastal zone. The Channel and Atlantic seaboard of France are no exception, with hundreds of archaeological sites currently threatened by destruction due to the accelerated relative sea-level rise, erosion, and various anthropogenic modifications to the environment. This paper aims at presenting the ALeRT (Archéologie, Littoral et Réchauffement Terrestre) project, consisting of an original and interdisciplinary approach for assessing the vulnerability of the archaeological heritage in Western France. Original methodologies and dedicated tools have been developed for the observation of risks and their impacts on cultural heritage. These tools have recently been integrated into a collaborative research approach.

MOTS-CLES : littoral, patrimoine, vulnérabilité, observation, Ouest de la France

KEYWORDS: Coasts, heritage, vulnerability, observation, western France.

1. Introduction

Les changements climatiques et certains de leurs effets que sont la remontée du niveau marin et l'érosion des côtes menacent de détruire une partie du patrimoine culturel et en particulier des sites archéologiques du littoral français de la Manche et de l'Atlantique, dans des délais allant de quelques mois à quelques années. Un site archéologique ainsi exposé peut définitivement disparaître en quelques mois (Erlandson, 2008). Dans le domaine littoral, la pression anthropique peut se révéler un facteur aggravant pour certains secteurs géographiques à vocation touristique ou industrielle.

Face à cette situation d'urgence, quelques initiatives européennes ont vu le jour, tout d'abord en Grande Bretagne (programme SCAPE = *Scottish Coastal Archaeology and the Problem of Erosion* en Ecosse, *Rapid Coastal Zone Assessment Surveys* en Angleterre...). En France, un groupe de chercheurs (institutionnels et collaborateurs), investis de longue date dans des recherches archéologiques en milieu littoral et insulaire dans l'Ouest de la France²¹, s'est fédéré dès 2006 au sein du projet «ALERT» (Archéologie, Littoral et Réchauffement Terrestre) dont les objectifs généraux sont la réalisation d'un état sanitaire du patrimoine archéologique littoral dans l'Ouest de la France, débouchant sur une réflexion globale concernant la vulnérabilité du patrimoine côtier et la gestion des sites menacés (Daire *et al.*, 2012 ; López *et al.*, 2013).

Ce projet porte sur l'Ouest de la France (Basse-Normandie, Bretagne et Pays-de-la-Loire, 8 départements français), soit 2974 km de côtes, un territoire où le potentiel du patrimoine archéologique de la bande littorale (100 m) est estimé à plus de 2500 sites.

La première étape de la démarche repose sur l'analyse des indicateurs de destruction des sites archéologiques côtiers (critères de vulnérabilité à diverses échelles locales et régionales) et la construction d'un outil d'évaluation de la vulnérabilité de ce patrimoine. La démarche est donc fondée sur une approche interdisciplinaire (archéologie, études environnementales, géographie, géomorphologie, géologie, sédimentologie, anthropologie).

Le second outil élaboré dans le cadre du projet est une base de données interactive, s'inscrivant dans une démarche de science participative, impliquant divers types d'acteurs (cf. infra).

Un objectif à plus long terme est l'élaboration de cartes des niveaux de vulnérabilité de ce patrimoine côtier. Ces cartes seront des outils de recherche à destination des scientifiques (paléoécologie, climatologie, géologie sédimentaire, anthropologie) mais pourront aussi constituer des aides à la gouvernance, en termes de gestion intégrée des zones côtières, selon des modèles transposables à d'autres secteurs géographiques, ainsi que nous avons pu l'expérimenter (López-Romero *et al.*, 2012).

2. Méthodologie

Les sites archéologiques côtiers ne sont pas tous soumis aux mêmes aléas et les facteurs de dégradation peuvent varier, voire se combiner selon les secteurs géographiques ou les saisons. Ces

²¹ Ce projet fédère notamment des chercheurs de l'UMR 6566 « CReAAH : *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire* » (CNRS, Ministère de la Culture, Universités de Rennes 1, Rennes 2 et Nantes), Axe de recherche « littoral », des membres de l'Association AMARAI (Association Manche Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les îles) et génère des collaborations avec plusieurs autres laboratoires (notamment avec Géosciences Rennes et Costel, au sein de l'OSUR Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes).

variations sont liées à la nature des sites archéologiques (composition et taphonomie des vestiges, plus ou moins résistants), à leur environnement géomorphologique immédiat (nature et résistance du sédiment encaissant, structure de la cellule sédimentaire...), etc. Dans certains cas, des facteurs anthropiques défavorables accentuent ou accélèrent la dégradation des sites : des cheminements, des aménagements touristiques entraînant une hausse de la fréquentation, par exemple, ou encore certaines activités économiques. Parfois, des mesures de protection liées à la gestion de l'environnement (Réserves Naturelles) ont un effet positif sur la préservation des vestiges archéologiques, telles par exemple les stabilisations de dunes. Mais l'évolution du paysage côtier est un phénomène qui va généralement dans le sens d'une perte de données scientifiques, plus ou moins rapide, et parfois très brusque et irrémédiable, puisque le principe de résilience est quasi nul en matière d'archéologie.

2.1 Les outils du projet : la grille d'évaluation de la vulnérabilité

Visant une évaluation objective de l'état d'altération, de préservation et d'évolution du patrimoine archéologique littoral, la réflexion menée dans le cadre du projet nous a permis de conclure que les variables prises en compte dans l'appréhension de la vulnérabilité des sites archéologiques côtiers relevaient de quatre registres principaux : naturels, biologiques, anthropiques et juridiques. En conséquence, une grille d'observation et d'évaluation de la vulnérabilité (VEF = *Vulnerability Evaluation Form*) a été mise au point dans le cadre du projet (Daire *et al.*, 2012 ; López *et al.*, 2013) (Figure 1).

Ce document repose sur le principe de base que certaines variables reflètent les facteurs d'altération de l'intégrité des dépôts (menaces) tandis que d'autres variables reflètent une forme de résistance des dépôts face à ces dangers (la résistance). Le VEF est présenté comme un formulaire destiné à établir un indice de vulnérabilité de chaque entité archéologique, indice qui s'exprime dans la formule «A - B = C», où «A» est le facteur de risques cumulés, «B» la somme des facteurs de résistance, et «C» la vulnérabilité résultant de la combinaison des précédents.

Code	Variable Type	Variable evaluation					Nature	
		5 Very strong <10 m	4 Strong <50 m	3 M. Str < 200	2 Weak < 500 m	1 A. Inacti >500 m		
A	1	a Infrastructures	X					
		b Activities		X				
		c Traffic/Frequency of passage	X					
	2	a Distance to the cliff			X			
		b Biological erosion					X	
		c Weathering				X		
B	1	a Resistance of the remains	X					
		b Resistance of the local substrate	X					
	2	a Physical protection					X	
		b Legal protection					X	

Figure 1. Grille de vulnérabilité VEF.

Cette approche fait conceptuellement partie de la philosophie du *risk assessment* et des cartes de risques (López *et al.*, 2013). L'enregistrement systématique des paramètres de la menace, des caractéristiques du système exposé et de l'évaluation de la vulnérabilité permet ici d'obtenir - après un processus de recodage - une série de niveaux d'impact ou de risque. Au final, le VEF est constitué d'une liste de 10 variables (la proximité des infrastructures, la proximité des activités économiques, le trafic / la fréquentation, la distance à la falaise, le degré d'érosion biologique, le degré d'érosion climatique, la résistance du substrat, la résistance des vestiges archéologiques, la protection physique, la protection juridique) qui sont évaluées pour chaque site en distance par rapport au site (-10m,-50m,-100m,-500m, +500 m) ou en degré d'intensité (très actif, actif, modérément actif, faible, quasi inexistant). Nous ne reviendrons pas ici sur le processus d'élaboration de ce document, ni sur son caractère « objectif » ou encore les systèmes de codage adoptés, présentés par ailleurs (López *et al.*, 2013).

2.2 La démarche participative : les applications Alert Web et Alert Mobile

2.2.1. La base de données ALeRT et l'application Alert Web

Dans une logique d'évolution du projet, la grille d'observation (VEF) présentée *supra* a été intégrée à une fiche de site archéologique établie sur un modèle utilisé pour la gestion du patrimoine par le Ministère de la Culture. Ce document permet de caractériser sa nature (type de site) et sa chronologie, d'indiquer sa géolocalisation (coordonnées en projection Lambert II étendu, et référence cadastrale), ou encore d'ajouter des photos et des cartes du site.

La fiche intégrant ces données, enrichies de la VEF, devient le vecteur de communication entre observateurs de terrain, opérateurs du projet et gestionnaire du patrimoine, les fiches étant intégrées dans une base de données interactive. Dans un contexte où le travail de terrain est, par définition, décentralisé, cette démarche permet aux différents acteurs de terrain de signaler les sites archéologiques menacés (en renseignant en ligne la fiche dans la base de données) et de partager ces informations dans des délais très courts, compatibles avec la soudaineté et l'urgence générées par les événements climatiques extrêmes (tempêtes).

Les fiches, une fois enregistrées dans l'application, sont consultables par tous les utilisateurs et les administrateurs du site.

L'application prévoit également un module de recherche sous de deux formes : standard (mots-clés, critères, etc...) ou spatiale (zone géographique).

Cet outil constitue en outre une interface destinée à communiquer les informations au Ministère de la Culture en charge de la gestion et de la sauvegarde du patrimoine archéologique national et de la programmation des opérations (fouilles, sondages).

Ainsi, ont été développées depuis 2010 les applications 'Alert Web' et 'Alert Mobile', portails d'accès à la base de données interactive du projet²². Les observateurs de terrain alimentent la base de données et renseignent ainsi les informations concernant les sites menacés : localisation, description, évaluation de la vulnérabilité (VEF), observations et ajouts de documents (photos notamment).

²² Une inscription préalable sur l'application, comme utilisateur, est requise ; après validation par les administrateurs, chacun peut renseigner les champs d'informations de la fiche de site. L'application web est accessible depuis le lien: <http://ntarcho2.univ-rennes1.fr/Alert>.

2.2.2 L'application Alert Mobile

Depuis 2011, la démarche participative a été optimisée avec le développement d'une application pour Smartphone 'ALeRT Mobile' (technologie jQueryMobile) qui intègre la fiche de site et le VEF de la base de données (Barreau *et al.*, 2013). Cette application, destinée aux chercheurs et aux gestionnaires du littoral, permet la saisie des données directement sur le terrain.

Le progrès de cette seconde cette application est de faciliter la collecte immédiate des données sur le terrain et leur envoi, en supprimant l'intermédiaire de la fiche terrain et de sa saisie différée, et en accélérant leur traitement. L'application utilise le GPS intégré sur tous les téléphones et tablettes pour géolocaliser le site archéologique ; si le GPS n'est pas intégré dans le téléphone ou pas assez précis, les coordonnées sont directement saisies par le biais d'un formulaire dédié. De même, le système permet d'intégrer directement les photos prises sur le terrain avec le smartphone ou la tablette, ce qui représente un gain de temps considérable.

3. Etudes de cas

En dépit de l'universalité de la conception et de la mise en œuvre des outils, dont l'applicabilité dans différentes régions a été testée et validée dans le cadre du projet franco-espagnol *Bregantia* (López-Romero *et al.*, 2012), notre travail a montré que des conditions micro régionales peuvent jouer un rôle important dans l'évaluation du degré d'altération des sites. Rappelons que l'une des finalités du projet est l'analyse de la vulnérabilité du patrimoine côtier à différentes échelles spatiales, en vue de l'établissement de cartes de vigilance et de plans d'action dont on peut espérer qu'elles permettront d'anticiper la disparition de certains vestiges ou monuments. Ce point sera illustré par quelques études de cas.

3.1 La vulnérabilité des côtes morbihannaises

Le modèle de vulnérabilité a été appliqué sur une zone test du littoral breton : la presqu'île de Rhuys (Morbihan) (Figure 2). Les tests, ayant permis de valider sur le terrain les critères de la grille de vulnérabilité, visaient une évaluation de l'état sanitaire du patrimoine archéologique côtier et des risques naturels et anthropiques dans ces deux zones.

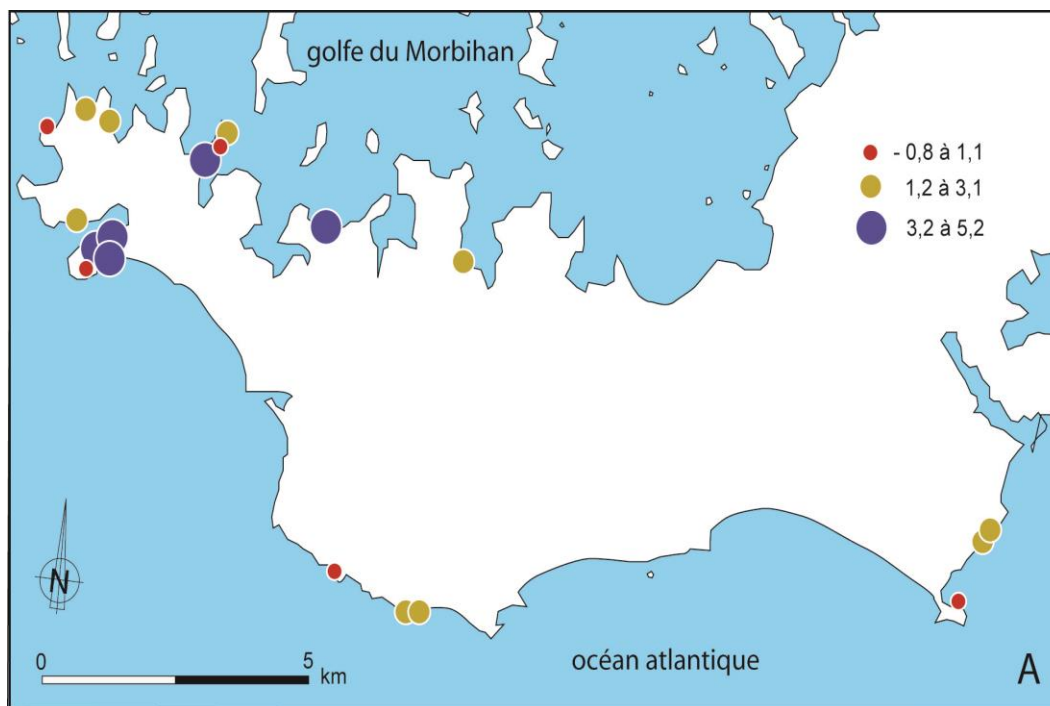


Figure 2. Carte de vulnérabilité de la presqu'île de Rhuys

La presqu'île de Rhuys a été choisie pour son potentiel archéologique, confronté à une pression anthropique importante, dans un contexte géographique présentant deux façades maritimes différentes, l'une de caractère océanique est exposée aux vents et à l'houle, et l'autre donnant sur le golfe du Morbihan, beaucoup plus abrité. La zone d'étude comprend les communes d'Arzon, Sarzeau et Saint-Gildas-de-Rhuys où ont été répertoriés 19 sites archéologiques (Schaeffer, 2009). L'enquête de terrain a permis de constater la disparition d'un certain nombre de sites naguère inventoriés. L'étude de la vulnérabilité montre une zone de risque autour du tumulus du Petit Mont où les sites les plus en danger sont les installations de l'âge du Fer (López-Romero *et al.* 2013, 131). La presqu'île est aussi riche en patrimoine mégalithique mais la résistance à l'érosion de ce type de site et le fait qu'ils ont souvent été fouillés, restaurés et classés au titre des monuments historiques induisent un facteur de vulnérabilité inférieur.

La comparaison entre les deux zones indique que la menace principale est l'intensification de l'urbanisme et du tourisme.

3.1 Le littoral trégorrois

Depuis 2013, les analyses se sont concentrées sur le patrimoine archéologique côtier du Trégor, en particulier sur la baie de Lannion (Finistère et Côtes d'Armor). Ici encore, nous avons constaté, sur le terrain, la disparition d'un certain nombre de sites à cause de facteurs à la fois naturels (p.e. érosion du site du Moulin de la Rive à Locquirec) et anthropiques (p. e. le nettoyage de la plage de Kerlavos à Trégastel à la suite de marées noires a entraîné la destruction d'un site du 1^{er} s. av. J.-C.).

Les critères du choix de cette zone reposent sur la diversité de son patrimoine archéologique (couvrant une large chronologie) et celle des faciès morphologiques côtiers.

En conséquence de l'érosion des côtes, plusieurs sites archéologiques ont été touchés et ont fait l'objet d'une intervention archéologique approfondie ; il s'agit notamment d'habitats et d'ateliers artisanaux de production de sel de l'âge du Fer (3^e-1^{er} s. av. J.-C.), Landrellec ou Enez Vihan (Daire, 2003). Plus récemment les travaux se sont concentrés sur les barrages à poisson de l'estuaire du Léguer.

Au niveau géographique, l'exposition de la baie ouverte au NO montre une certaine vulnérabilité face aux tempêtes hivernales. Déjà en 2008, la tempête Xynthia avait violemment attaqué le site archéologique Dossen Rouz à Locquémeau-Trédrez ainsi que le monumental cordon de galets voisin (Daire, 2011). Malgré ces violents épisodes, la présence d'écueils rocheux participe à mitiger l'érosion de la partie centrale de la baie (estuaire du Léguer) et les principaux dégâts se concentrent sur les extrémités de la baie (communes de Locquirec et Trégastel). La morphologie côtière de la baie de Lannion montre une succession de falaises et de plages sableuses (Augris et Simplet, 2011, 20), la localisation des sites archéologiques aura donc une incidence directe sur leur vulnérabilité.

Dans cette zone d'étude, la pression anthropique est aussi importante, car tout le littoral a fait l'objet d'une intense exploitation des carrières de granite, entre le 19^{ème} et le 20^{ème} siècle, ce qui a entraîné la destruction de plusieurs sites archéologiques.

Les sites les plus en danger correspondent à des habitats non fortifiés de l'âge du Fer, comme celui de l'île Molène (Trébeurden), l'île étant elle-même condamnée à disparaître d'ici quelques années. A la différence des autres zones d'étude, la morphologie du littoral de la baie de Lannion montre, pour la Préhistoire ancienne, une prépondérance de sites aujourd'hui localisés sur l'estran et accessibles à marée basse, notamment autour de l'île Grande (Pleumeur-Bodou). La facilité d'accès aux sites et le ramassage constant des outils en silex sur l'estran par tous les promeneurs risquent de faire disparaître les faibles traces de ces paléosols ; les gisements les mieux conservés sont situés sur les îles plus abritées et dont l'accès est plus difficile, comme le paléosol de l'île d'Aval (Pleumeur-Bodou).

4. Participation citoyenne et observation des sites : les tempêtes de l'hiver 2014

L'épisode de tempêtes de l'hiver 2014, l'un des plus violents depuis 2008, a permis de montrer la pertinence du projet ALERT dans la « préservation » des sites archéologiques côtiers en danger, selon le principe de « *preservation by record* », étant donné l'impossibilité de protéger physiquement tous les vestiges.

Pendant la nuit du 1^{er} au 2 février 2014, plusieurs zones ont été érodées, et des sites que l'on croyait stabilisés ont été sérieusement endommagés après le passage de la tempête Petra, combiné aux très fortes marées astronomiques (coefficients 113/114 le 1^{er}). Le passage de la tempête Petra a mobilisé un important réseau de bénévoles pour l'observation et le suivi des sites archéologiques en danger²³.

Les dégâts nous ont été immédiatement signalés, ce qui nous a conduits à vérifier rapidement sur le terrain l'état des sites. Ces sorties ponctuelles nous ont permis de rencontrer les différents acteurs du terrain et de faire connaître les outils disponibles.

²³ A la base de cette mobilisation, il faut signaler le réseau de l'AMARAI (Association Manche Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les îles), et la collaboration avec d'autres associations régionale. Ont été particulièrement actifs dans ce secteur Jean-Claude Le Goff, Daniel Roué, François Le Gall, Pascal Méric, Martine Fabre, Gilles Chevalier et Patrick Hamon.

A Santec (Finistère), dans la partie nord de la falaise de Cougn ar Sac’h une tombe de l’âge du Bronze similaire à celles de Roc’h Kroum (Le Goff et Roué, 1999) a complètement disparu à cause des dernières tempêtes et du ruissellement de l’eau de pluie. La tombe, signalée en 1979 et stabilisée depuis 2010, était composée d’une structure en pierre sèche et d’une dalle de couverture ; la seule trace de l’emplacement de la tombe est la présence d’une fine couche blanchâtre de chaux et de sable qui s’étalait dans la partie inférieure de la tombe. Une autre tombe est apparue au même endroit « grâce » aux tempêtes de février 2014. L’expertise sur place a permis de constater que cette structure présente les mêmes caractéristiques que l’autre tombe, c’est-à-dire des structures latérales en pierre sèche, deux dalles de couverture et une couche de chaux et sable dans la partie inférieure. L’identification de ce site n’aurait jamais été possible sans la participation des bénévoles locaux, ce qui montre l’importance du travail collaboratif en matière de surveillance du littoral.

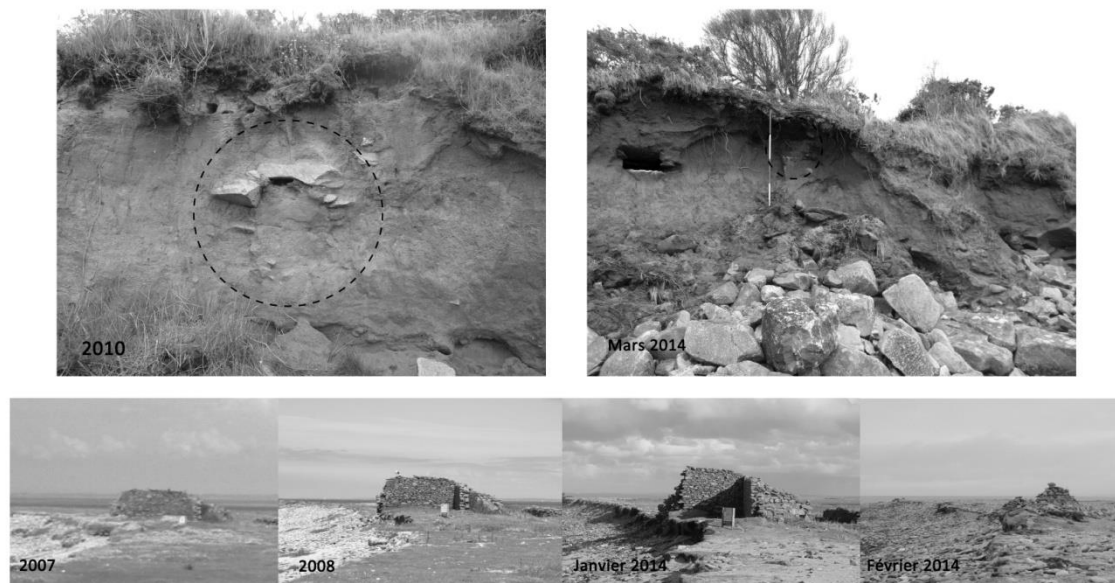


Figure 3. En haut falaise de Cougn ar Sac’h entre 2010 et 2014, la tombe disparu se trouvait à droite du jalon, la tombe apparue en février 2014 se situe à gauche du jalon sur la photo à droite. Photos J.C. Le Goff et M. Monros. En bas recul de la falaise de l’île de Triélen où se trouve le site archéologique entre 2007 et 2014. Photos M.Y. Daire, H. Gandois et H. Mahéo.

Un autre site soumis à l’érosion, fait l’objet d’un suivi archéologique depuis plus de 10 ans. Il s’agit d’un habitat de l’âge du Fer (3^{ème} s. av. J.-C.) localisé en bordure de la plage nord-est de l’île de Triélen (archipel de Molène, Finistère), sur un ensemble qui fait l’objet d’un suivi géomorphologique (Daire *et al.*, 2008 ; Fichaut et Suanez, 2007). Ne pouvant ni protéger le site de l’érosion, ni le fouiller compte tenu des mesures de protection au titre de la réserve naturelle, ce suivi archéologique a permis d’enregistrer les informations relatives aux vestiges anciens. Les moyens mis en œuvre sont des relevés (photos, relevés stratigraphiques...), après nettoyage et redressement des coupes, des prélèvements des matériaux effondrés et des petits sondages exploratoires limités aux portions de la coupe déjà dégagées de leur couverture végétale. Ce site, particulièrement exposé, montre une dégradation continue accélérée lors des épisodes de tempêtes. Loin d’être régulière, la dégradation

du site s'est notamment accentuée lors des épisodes de tempête de cet hiver 2014, comme le montre le suivi photographique (Figure 3).

Les effets négatifs des dernières tempêtes ont permis de sensibiliser la population à la menace qui pèse sur un patrimoine vulnérable. Le projet a donc atteint une nouvelle étape, avec le fait de sensibiliser une population qui est invitée à s'engager dans la protection de notre patrimoine ; cette action passe par une fédération des professionnels et des bénévoles et, à terme, la constitution d'un réseau couvrant l'ensemble du territoire, impliqué dans une démarche visant à enrichir les connaissances, et à valoriser et protéger un patrimoine culturel si fragile.

Le projet ALeRT a bénéficié jusqu'ici du soutien de la Fondation Langlois, de l'AMARAI (Association Manche Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les Îles), du projet Bregantia (2010FR0003, CSIC-CNRS bilateral cooperation projects), et est soutenu par le CNRS. Des développements sont actuellement en cours dans le cadre du projet ARVOR (financé par la Région Bretagne, SAD v.2 – Stratégie d'Attractivité Durable, contrat post-doctoral 2012-2014 Université de Rennes 1).

Bibliographie

Augris C., Simplet L. (2011). *Atlas géologique de la baie de Lannion*, éditions Quae, Versailles.

Barreau J.-B., Sachet M., López-Romero E., Daire M.Y., Olmos Benlloch P. (2013). ALERT Mobile: managing coastal archaeological heritage in Western France, *Actes du colloque Digital Heritage International Congress*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Marseille, p. 611-614.

Cunliffe B., Galliou P. (2005). *Les fouilles du Yaudet, en Ploulec'h, Côtes-d'Armor. T. 2 - De la Préhistoire à la fin de l'empire romain*, Oxford University Press et CRBC ed., Oxford-Brest.

Daire M.Y. (2003). *Le sel des Gaulois*, Editions Errance, Paris.

Daire M.Y. (2011). *Sur les rivages de la Manche...Le site de l'Age du Fer de Dossen Rouz à Locquémeau-Trédrez (Côtes-d'Armor). Etude pluridisciplinaire*, Dossiers du Centre Régional d'Archéologie d'Alet, Rennes.

Daire M.Y., Baudry A., Dupont C., Leroux V.E., Dréano Y., Tresset A., Quesnel L. (2008). Suivi archéologique de l'île de Triélen. Un site gaulois au péril de l'érosion. *Bretagne Vivante 2008, Le réseau des Réserves*, p. 19.

Daire M.Y., López-Romero E., Proust J.N., Regnaud H., Pian S., Shi B. (2012). Coastal changes and cultural heritage: Towards an assessment of vulnerability through the Western France experience, *Journal of Island and Coastal archaeology*, vol. 7, p. 168-182.

Erlandson J.M. (2008). Racing the rising tide: global warming, rising seas and the erosion of Human History, *Journal of Island and Coastal Archaeology*, vol. 3, p. 167-169.

Fichaut B., Suanez S. (2007). Plage fuyante à Triélen, *Penn ar Bed*, vol. 199-200, p. 2-12.

Le Goff J.-C., Roué D. (1999). Inventaire archéologique du littoral de la commune de Santec, *Bulletin de l'Association Manche-Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les Îles*, vol. 12, p. 5-28.

López-Romero E., Ballesteros-Arias P., Daire M.Y., Güimil-Fariña, A. (2012). Les Îles Atlantiques de Galice (NW Ibérique). Archéologie et Vulnérabilité. *Bulletin de l'Association Manche-Atlantique pour la Recherche Archéologique dans les Îles*, vol. 25, p. 5-17.

López-Romero E., Daire M.Y., Proust J.N., Regnaud H. (2013). Le projet ALERT : une analyse de la vulnérabilité du patrimoine culturel côtier dans l'Ouest de la France, *Actes du colloque HOMER 2011*, British Archaeological Reports, International Series, BAR S2570, p. 127-136.

Schaeffer E. (2009). *Inventaire diachronique et étude de vulnérabilité des sites archéologiques côtiers en presqu'île de Rhuys*. Mémoire de Master 1, Université Rennes 1.