

Do students dream of moving robots ou L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique

Jean-Louis Dillenseger, Pauline Hamon, Guy Caverot, Christine Toumoulin

▶ **To cite this version:**

Jean-Louis Dillenseger, Pauline Hamon, Guy Caverot, Christine Toumoulin. Do students dream of moving robots ou L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique. Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes, 2016, 15, 10.1051/j3ea/2016001 . hal-01433824

HAL Id: hal-01433824
https://hal.science/hal-01433824

Submitted on 18 Jan 2017

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.

Do students dream of moving robots
ou
L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique

Jean-Louis Dillenseger*, Pauline Hamon**, Guy Caverot**, Christine Toumoulin*

* IUT Rennes, dpt GEII, rue du Clos Courtel, FR-35703, Rennes ;
** Société BA Systèmes, 9 route de Chavagne, FR-35310 Mordelles ;
auteur correspondant :
Jean-Louis Dillenseger
Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image,
INSERM 1099, Université de Rennes I,
Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France.
tel : +33 (0)2 23 23 55 78 fax : +33 (0)2 23 23 69 17
email : jean-louis.dillenseger@univ-rennes1.fr

Article publié par EDP Sciences et disponible sur le site http://www.j3ea.org ou http://dx.doi.org/10.1051/j3ea/2016001

Résumé

Ce papier présente l'enseignement d'un module de robotique mobile donné dans le cadre de la Licence Professionnelle Mécatronique en alternance de l'IUT de Rennes. Du fait de son entourage industriel, cette Licence s'est tout naturellement intéressée à la robotique mobile. Dans ce papier nous verrons que, dans un premier temps, les choix du contenu de la formation et de celui de la cible pratique ont été liés directement au public visé par la Licence Professionnelle. Le contenu de la formation mêle une conférence donnée par un ingénieur spécialiste dans le domaine et une série de 20 h de Travaux Pratiques sur une cible Robotino de la société Festo. En fin de cycle de TP, nous avons également programmé une évaluation formelle de la formation par les étudiants. Les conclusions de cette évaluation nous semblent très encourageantes

Mots clés

Robotique Mobile ; Mécatronique ; Licence Professionnelle ; Alternance ; Lien industrie/formation

1 Introduction

La Licence Professionnelle Mécatronique en alternance de l'IUT de Rennes [1] est une formation pluridisciplinaire qui se propose de compléter la formation des techniciens de niveau BAC + 2 (BTS ou DUT) possédant une spécialité de base centrée sur la mécanique, l'électronique, l'informatique ou l'automatique, pour leur apporter des connaissances technologiques transversales essentielles dans un contexte de conception et fabrication intégrée de systèmes complexes automatisés et robotisés. Ces connaissances concernent la mécanique, la robotique, la vision industrielle, les capteurs mais également la commande et le contrôle des systèmes à travers un réseau de communication industriel

Le diplômé est un cadre technique qui a vocation à œuvrer en qualité d'Assistant - chef de projet- sous la responsabilité d'un ingénieur sur des projets pluri-technologiques. Il intervient alors en tant que coordinateur pluri-technique à l'interface des différents services de l'entreprise : bureaux d'études, méthodes, production, maintenance. La diversité des disciplines enseignées lui permet également de s'insérer dans l'un de ces services sur des postes de technicien supérieur d'étude et développement, technicien méthodes, automaticien, roboticien, chargé d'affaires, maintenance, ..., et dans un grand nombre de secteurs d'activité : l'automobile, l'aéronautique, la construction navale, l'industrie mécanique, l'industrie agroalimentaire, l'électronique grand public, l'énergie, les transports, les technologies pour la santé,...

1. Elle découle d'un partenariat entre les départements GEII et GMP de l'IUT de Rennes, Master mécatronique de l'Université de Rennes 1, du Lycée Joliot-Curie de Rennes et de l'ENS de Rennes.

La robotique s'est développée de manière très rapide ces dernières années, pour investir aujourd'hui tous les secteurs de l'activité humaine. Citons pour exemple le monde agricole (robot de traite des vaches, de tonte des moutons, de cueillette de fruits,...), les applications grand public (robot aspirateur, robot tondeuse), le nettoyage industriel, les domaines nucléaire, spatial, minier, sous-marin, les travaux publics et bâtiment (engins télécommandés à distance pour l'inspection et la maintenance sur des sites difficiles d'accès, la manutention, ...) , le domaine médical (robot pour la chirurgie mini-invasive, robot pour la rééducation, robots d'assistance à la personne,...), la sécurité civile et militaire (drones). La robotique se décline ainsi en deux segments : la robotique industrielle et la robotique de service. L'essor de la robotique de service a fait qu'actuellement, le nombre de robots mobiles a largement dépassé celui de robots industriels. Dans l'industrie, nous assistons cependant au développement des usages industriels de la robotique de service et de la robotique industrielle mobile par le biais entre autres de solutions de logistique autonomes (Chariots automatiques -AGV-, ...) ou de robots coopératifs (cobotique).

Pour intégrer cette nouvelle réalité et répondre à la demande croissante de compétences des entreprises, nous avons décidé de compléter le programme de robotique de la licence, initialement focalisé sur la robotique manufacturière (programmation hors ligne et en ligne sur robots poly-articulés ABB et Fanuc), avec un enseignement sur la robotique mobile. Il s'agissait de présenter à nos stagiaires, le marché et les domaines technologiques concernés par ce segment de la robotique, leur permettre ensuite, d'appréhender à travers une application dédiée, quelques-unes des problématiques afférentes à la robotique mobile : (1) la perception de l'environnement dans lequel le robot évolue (au travers de capteurs de mesure et de contrôle), (2) l'analyse des informations et l'élaboration d'une décision d'action (algorithmie) , (3) la navigation du robot dans cet environnement (algorithmie, actionneurs, moteurs). Ce choix nous a paru d'autant plus pertinent du fait de la présence sur notre bassin d'activité de la société BA Systèmes [1] leader européen de réalisation de systèmes logistiques par chariots automatiques mais également partenaire de la formation.

Cet article décrit les attendus de ce module, son contenu et la cible applicative choisie.

NB. le titre de l'article est librement inspiré de [2].

2 Montage de la formation en robotique mobile

2.1 Licence Professionnelle en Mécatronique

La Licence Professionnelle a pour objectif de compléter la formation des techniciens possédant une spécialité centrée sur la mécanique, l'électronique ou l'automatisme pour leur apporter les connaissances technologiques transversales essentielles dans un contexte de conception et fabrication intégrée de systèmes automatisés et robotiques. Plus concrètement, elle a comme vocation de former des techniciens à haute qualification susceptibles de gérer des plateformes multi-techniques (suivi de l'installation, mise en oeuvre et réglage des différents modules, maintenance et prospective d'évolution). La Licence est à visée professionnelle, ce qui veut dire que peu d'étudiants vont poursuivre leurs études (1 étu-

diant en moyenne par promotion). La formation se doit donc de donner des compétences directement utilisables dans les futurs métiers de nos étudiants.

La formation que nous proposons se déroule en alternance dans le cadre de contrats de professionnalisation. Le public concerné par la formation est constituée à 70% d'étudiants ayant un diplôme de BTS (BTS ARS, MI, électrotechnique, ...) et pour 30% de DUT (DUT GEII, GIM ou GMP). Un certain nombre de ces étudiants sont déjà issus d'un enseignement par alternance.

La robotique mobile est une discipline qui fait appel au formalisme des mathématiques pour résoudre les problèmes de déplacement d'un robot dans un environnement plus ou moins structuré et à des compétences en programmation de systèmes embarqués. Les connaissances en mathématiques concernent la trigonométrie, l'algèbre linéaire (matrice, vecteurs, changement de repères, équation différentielle et résolution d'équations à plusieurs inconnues), et les dérivées partielles.

Un module d'harmonisation en amont de la formation permet d'introduire des rappels sur les mathématiques (15 h) et de réaliser une mise à niveau sur la programmation langage C (30 h). Le langage java est ensuite enseigné en amont du module de robotique mobile, à hauteur de 30 h. Malgré le ressenti très positif de ces enseignements par les stagiaires, nous sommes bien conscients que leurs connaissances en programmation nécessiteraient d'être approfondies pour leur permettre d'aborder plus aisément la programmation des robots mobiles dont les interfaces de programmation (API) sont en langage orienté objets comme le C++ ou le C#.

2.2 Contenu du module

Comme précisé plus haut, nous avons choisi d'orienter le contenu de ce module non pas sur la conception d'un robot mobile mais sur les problématiques liées au déplacement d'un robot dans un environnement donné (suivi d'un chemin connu, déplacement d'un point à un autre en réagissant à la présence d'un obstacle, etc). Il s'agissait ainsi de leur faire appréhender les notions de déplacement du robot dans son environnement (notion de pose et de trajectoire), de contrôle de son déplacement (odométrie, centrale à inertie et positionnement absolu) et de l'interaction avec l'environnement (capteurs de distance : Infrarouge et télémètre laser, capteurs magnétiques, optiques et caméras associant l'analyse de scène).

D'autres aspects de la robotique mobile, comme la programmation avancée, les mécanismes d'asservissement et de contrôle du mouvement, la cartographie active,... nous semblaient dépasser le niveau de compétences exigé dans les futurs emplois qu'occuperont nos étudiants après la formation.

2.3 Choix de la cible

Un groupe de travail s'est réuni pour réfléchir à la construction de cet enseignement en fonction des objectifs de compétences affichés. Ce groupe était constitué de Guy Caverot (Responsable Innovation Société BA Systèmes), Yann Dieulangard (chargé de mission à

la Meito [2] [3] et anciennement Responsable formation à la société Edixia [3]) [4], Jean Louis Dillenseger et Christine Toumoulin (Enseignants-chercheurs à l'IUT de Rennes).

Plusieurs critères ont été élaborés pour orienter le choix du matériel à acquérir :

- Solution basée sur des équipements industriels. Ceci, nous a conduit à écarter des solutions comme les robots Légo Mindstorms [5, 6, 7], Kaphera [8] ou des plateformes mobiles basées sur des cartes Arduino [9],...
- Intégration d'une grande variété de capteurs : caméra, capteurs Infra Rouge ou Ultrasons pour la localisation de proximité, un télémètre laser, un système odomètre ou un gyroscope pour la localisation spatiale, un capteur optique pour le suivi de ligne,...
- Architecture logicielle simplifiée pour permettre aux étudiants d'accéder directement au capteur pour lire l'information pour une meilleure compréhension des concepts techniques.
- Robustesse : l'objectif est de faire évoluer des robots dans un espace dédié pour les faire travailler ensemble (Collision possible de robots).
- Accès à une communauté de développeurs via un forum pour faciliter les échanges, la formation et la mise en place de projets.

Nous avons retenu trois solutions qui nous semblaient répondre à nos attentes : le Robotino de la marque Festo [10], Le Pekee de Wany Robotics [11] et le RobuLAB-10 de Robosoft [12].

Un premier round de demande de renseignements auprès des services commerciaux de ces trois solutions et une visite à des structures d'enseignements ou de recherche (Polytech Lilles et du Loria de Nancy, chacun ayant mis en place un module d'enseignement de robotique mobile avec respectivement des robots Festo et Wany Robotics) nous ont conduits à choisir le Robotino de la marque Festo [10] (Fig. 1).

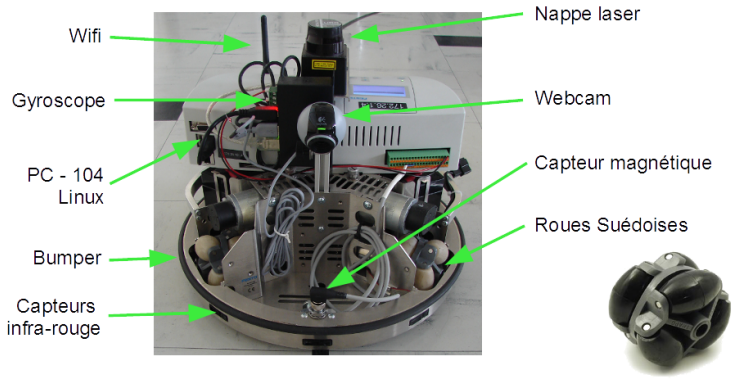


FIGURE 1 – Robot mobile Robotino

Festo est bien implémenté dans le monde industriel pour ses produits liés à l'automa-

2. Association chargée de l'Animation de la filière Électronique, Informatique et des Télécommunications de l'Ouest.

3. Edixia est l'un des leaders de solutions d'inspection par la vision

tisme. La base du Festo est un système de 3 roues holonomes permettant un déplacement dans toutes les directions sans avoir besoin de changer d'orientation au robot. Sur cette base peuvent être montés différents capteurs issus du monde industriel (capteur magnétique, capteur de distance par infrarouge, gyroscope, nappe laser, ...). La base informatique est un PC-104 sous Linux, la programmation de base se fait en C++, avec une possibilité d'utiliser d'autres langages comme le java, C#, C, Matlab, labview,... via des wrappers. Un langage de programmation graphique, le Robotino View est également fourni.

3 enseignement mis en oeuvre

3.1 Conférence préalable

Une présentation de la robotique sous la forme d'une conférence de 4h est dispensée par un ingénieur de la société BA Systèmes. Son contenu porte sur :

- La définition de la robotique mobile et une présentation des différents domaines d'application, ses filières, etc. Une typologie des robots mobiles en fonction du moyen de locomotion y est donné.
- Les robots mobiles à roues et leur modélisation. Cette partie a porté sur la définition de la pose d'un robot, du choix du nombre et de la technologie des roues (fixes, orientables, décentrées orientables, holonomes, ...) et les différents modèles de ces roues et des liens entre la cinématique du robot mobile et la vitesse de rotation des roues.
- Les capteurs et la perception de l'environnement pour la localisation du robot mobile dans son espace de travail : types de capteurs et type de localisation qu'ils fournissent (relatives, absolues, etc.).
- La navigation d'un robot mobile. Dans cette partie sont abordés le type de trajectoires (imposée, suivi d'objets, évitement d'obstacles), les consignes et les lois de commande liées à la trajectoire.

La dernière partie de l'exposé propose de transposer ces différentes notions générales sur la base du Robotino utilisée en Travaux Pratiques : cinématique et consigne de vitesse propres au système de propulsion du Robotino (trois roues holomorphes), capteurs, etc.

3.2 Travaux pratiques

L'idée préalable que nous avions de ce module était de former nos étudiants non pas à la conception de robots mobiles mais plutôt à l'intégration d'un robot mobile dans son environnement. Nous avons donc mis en avant les notions de consignes imposées aux robots, de trajectoires des robots, de capteurs et d'interactions entre le robot et son environnement.

Les Tps se sont déroulés sur 5 séances de 4 h. Les trois premières séances ont été élaborées sous une forme relativement guidée afin de favoriser l'apprentissage des différentes notions de base (repère Robot, repère roues, consignes, trajectoires des robots, de capteurs

et d'interactions entre le robot et son environnement). Les deux dernières étaient plutôt sous la forme de petits projets mettant en œuvre les différents capteurs.

Nous n'avons abordé les parties commandes et régulation des systèmes qu'indirectement en montrant graphiquement certaines lois de commande modifiables dans des modules avancés (rampe de vitesse au démarrage ou à l'arrivée à une position fixe, ...). Certains étudiants se sont d'ailleurs amusés à modifier ces lois et ont pu constater leur impact sur le mouvement du robot (oscillation autour d'une position, etc.).

La programmation s'est effectuée en exploitant l'environnement de programmation graphique interactif Robotino View installé sur la station PC (fig. 2). Cet environnement propose :

- Une librairie de composants matériels sous forme de blocs fonctionnels : (Moteurs, E/S, capteurs, caméra, odométrie, pince, manipulateur, sortie de puissance, entrée codeur)
- Une librairie étendue de blocs de fonctions (mathématiques, traitement d'images, navigation, etc.).
- Un mode d'écriture par GRAFCET
- Un outil pour créer ses propres blocs de fonctions ou des blocs de script Lua [13, 14].

Il permet également de charger et lancer les programmes directement sur le robot via une communication par liaison par Wifi avec la station PC.

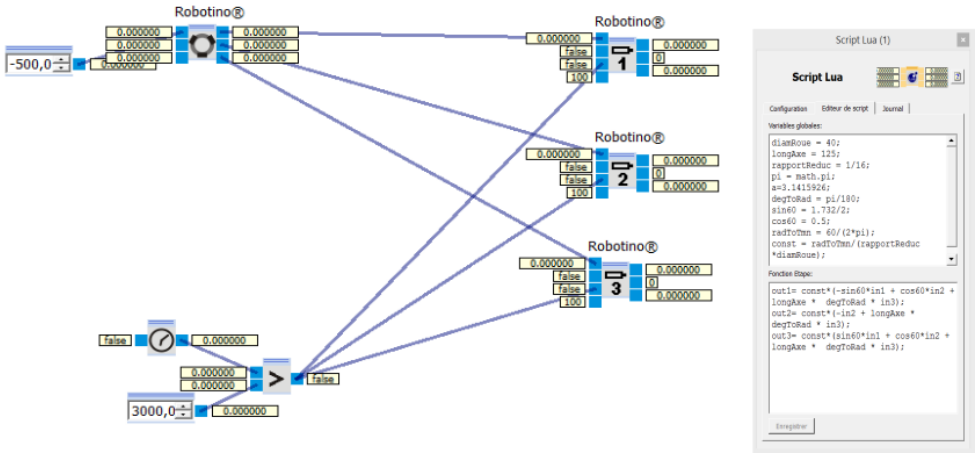


FIGURE 2 – Langage de programmation graphique Robotino View et à droite, une boite de script Lua

Les différentes séances ont été concentrées sur une période de 2 semaines.

Chronologiquement, le premier TP a débuté par une présentation générale du Robotino, (motorisation, capteurs, informatique embarquée et moyen de communication) et de l'environnement de programmation Robotino View. Un exemple de programmation projeté par vidéo projecteur leur permet de comprendre la structure d'un programme : programme principal sous la forme d'un grafcet et modules sous la forme d'une association de bloc

fonctions.

Les Tps ont ensuite abordé le *modèle cinématique du Robotino*. Il s'agit de faire le lien entre la vitesse de rotation de chaque roue suédoise avec le déplacement du robot. À partir des formules données en cours, les étudiants devaient programmer les modèles directs et inverses reliant la vitesse de rotation à donner aux trois moteurs (en tr/mn) à la consigne de vitesse de translation selon les axes x et y et la vitesse de rotation autour de z. La programmation s'est faite en exploitant un bloc de script Lua (fig. 2-droite). Les scripts Lua étant écrits avec une syntaxe proche du C ANSI, les stagiaires ont rapidement pu programmer les relations demandées en s'aidant de la documentation en ligne du site de Lua. Les stagiaires ont ensuite comparé leur propre script Lua avec la fonction équivalente « navigation omnidirectionnel » de Robotino View.

L'étape suivante a consisté à *estimer la trajectoire du robot en cours de navigation à l'aide de l'odomètre* fourni par Robotino View. Des trajectoires spécifiques (avance-recul sur 1m et carré de 1m de coté) ont permis de montrer la perte de précision de l'odométrie au fil du temps, l'apport en précision donnée par le gyroscope et également de montrer les effets de consignes de vitesses trop brutales (glissement au démarrage et à l'arrêt, etc.). Cette dernière constatation a permis d'introduire des modules de navigation basés sur l'odométrie : « parcoureur de positions » (d'une pose à une autre pose du robot) et « parcoureur d'itinéraires » (suite de poses du robot). La particularité de ces blocs est de posséder des consignes de vitesses variables (rampes de vitesse) lors du démarrage ou de l'arrivée à une pose (fig. 3). Ceci a permis de sensibiliser les étudiants aux lois de commande des robots mobiles.

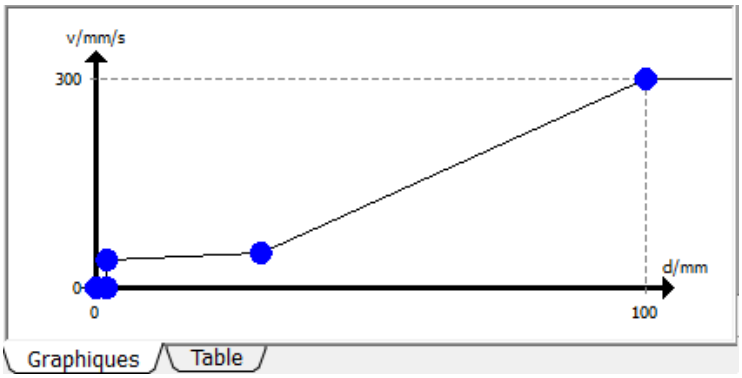
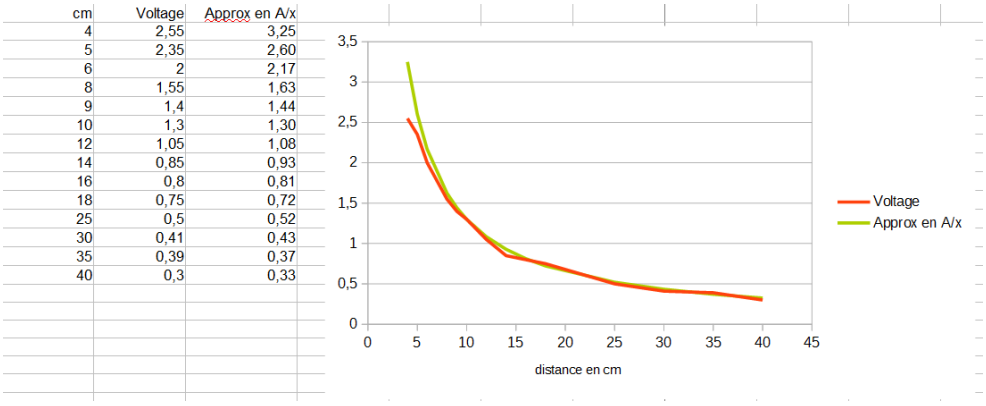


FIGURE 3 – Exemple d'une rampe de vitesse à l'approche d'une pose. En abscisse la distance à la pose en mm ; en ordonnée la vitesse d'avance du robot en mm/s.

Les stagiaires ont ensuite *calibré les capteurs de distance* à infrarouge. Dans Robotino View, l'interface de programmation ne fournit que la valeur de la tension analogique (en Volt) délivrée par le capteur à infrarouge. L'idée était d'établir la courbe de la distance entre le capteur et l'obstacle en fonction de la tension délivrée par le capteur. La courbe

pouvant globalement se modéliser par : distance = constante/tension, il a été demandé aux étudiants d'identifier les paramètres de ce modèle à partir de leurs mesures et de quantifier les erreurs entre modèle et mesures (fig. 4). Dans un second temps il a été demandé aux étudiants d'arrêter le robot à 10cm d'un mur. L'idée est que les étudiants définissent eux-mêmes les lois de commande associant la mesure de la distance à la consigne de vitesse du robot : conversion tension/distance (fig. 5-a) suivie d'une fonction de transfert linéaire seuillée (fig. 5-b).



cm	Voltage	Approx en A/x
4	2,55	3,25
5	2,35	2,60
6	2	2,17
8	1,55	1,63
9	1,4	1,44
10	1,3	1,30
12	1,05	1,08
14	0,85	0,93
16	0,8	0,81
18	0,75	0,72
25	0,5	0,52
30	0,41	0,43
35	0,39	0,37
40	0,3	0,33

FIGURE 4 – Calibration et modélisation d'un capteur de distances à infrarouge.

L'étape suivante fait référence à une application que nous pourrions transposer dans l'industrie : un système robotique mobile doit rallier une position en *longeant* un convoyeur *à une distance définie* et doit contourner des postes opérateurs. Il était demandé de faire longer un mur avec une certaine vitesse de consigne tout en restant à 10cm du mur. Lorsque ce mur est droit et ne présente pas d'obstacle, un seul capteur infrarouge peut être exploité pour suivre le mur et il suffit de définir une vitesse d'avance V_T constante parallèle au mur et une vitesse V_{dist} maintenant le robot à 10cm du mur, voir fig. 6). Les stagiaires devaient imaginer une adaptation judicieuse de la vitesse d'évolution en fonction de la distance au mur $V_{dist} = f(dist)$. Lorsque le mur présente des obstacles, une stratégie plus élaborée est à construire qui doit considérer plusieurs capteurs infrarouges. Les capteurs infrarouges servent à déterminer l'orientation du mur ou de l'obstacle par rapport au robot mobile. Les stagiaires doivent réfléchir à une solution permettant de garder le vecteur vitesse V_T parallèle au mur ou à l'obstacle tout en maintenant le robot à une distance de 10cm de cet obstacle (fig. 6).

Un travail identique est demandé en utilisant la nappe laser.

Progressivement, les sujets de Tps guidés au début, se transforment en sujets plus axés sur l'analyse et la réalisation de tâches plus complexes.

Ainsi le *suivi de ligne*. Le robot suit une ligne de guidage constituée d'une bande noire courbe au sol pour rallier des postes de chargement. Le suivi est réalisé par caméra. Lorsque

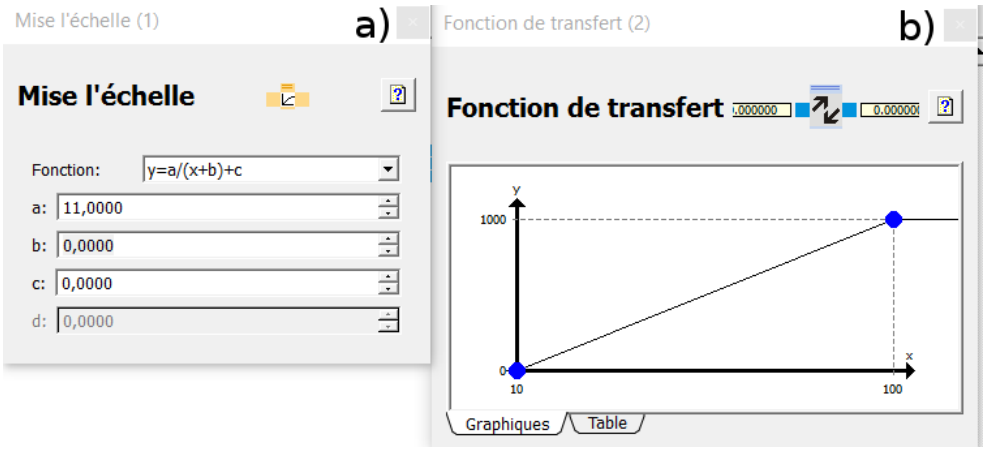


FIGURE 5 – a) Conversion tension en distance (distance = a/tension) ; b) fonction de transfert entre distance (abscisses en mm) et vitesse d'avance du robot (ordonnées en mm/s)

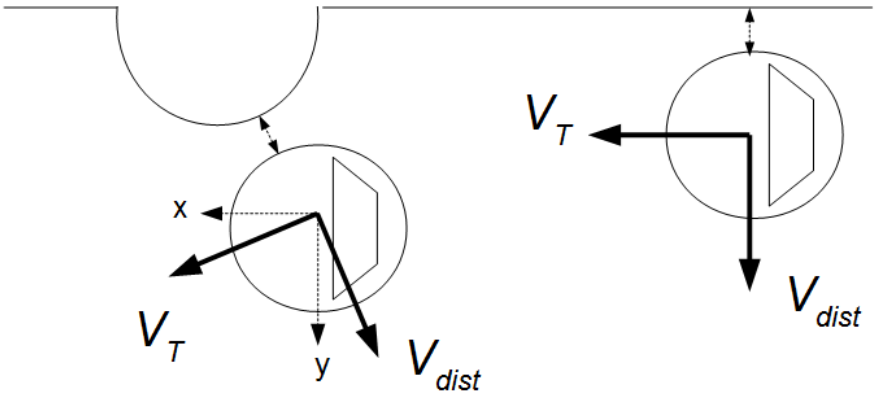


FIGURE 6 – Consigne de vitesses de suivi de mur.

le robot arrive sur un poste de chargement, il effectue son chargement puis réalise un demi-tour pour repartir en direction d'un autre poste pour y déposer son chargement. L'arrivée à un poste est matérialisée par une plaque métallique (fig. 7-a). Cette bande est détectée par un capteur inductif analogique. Plusieurs étapes sont considérées : 1) Guidage du robot par la caméra. Les stagiaires doivent définir une stratégie de traitement d'images pour estimer la position de la bande noire par rapport à l'axe horizontal de la caméra. Ils doivent alors trouver la loi de commande en vitesse du robot qui permet d'exprimer la vitesse angulaire de rotation du robot en fonction de cette position. 2) Arrêt sur bande métallique. Ce travail nécessite de réaliser au préalable un étalonnage du capteur inductif. 3) Garer le robot dans un box. Le box est composé de deux murs latéraux espacés de 50cm et d'un mur frontal et se situe à une distance de 1m de la bande métallique. Il est excentré par rapport à la position d'arrêt du robot. L'objectif est d'exploiter la nappe laser et les capteurs à infrarouge pour permettre l'approche du robot sur le box depuis la bande métallique, son entrée dans le box et son centrage entre les deux murs tout en l'avançant vers le mur frontal.

Un autre projet illustre la combinaison entre la *localisation relative (odométrie) et la localisation absolue*. Un motif particulier (un couple de carré rouge et bleu) est placé à différentes positions connues sur le sol (fig. 7-b). L'étudiant doit dans un premier temps placer, à l'aide de la vision, le robot à une pose particulière par rapport à ce motif. Connaissant la position du motif suivant, le robot s'y rend en s'aidant de l'odométrie puis s'y recale de manière absolue à l'aide de la vision.

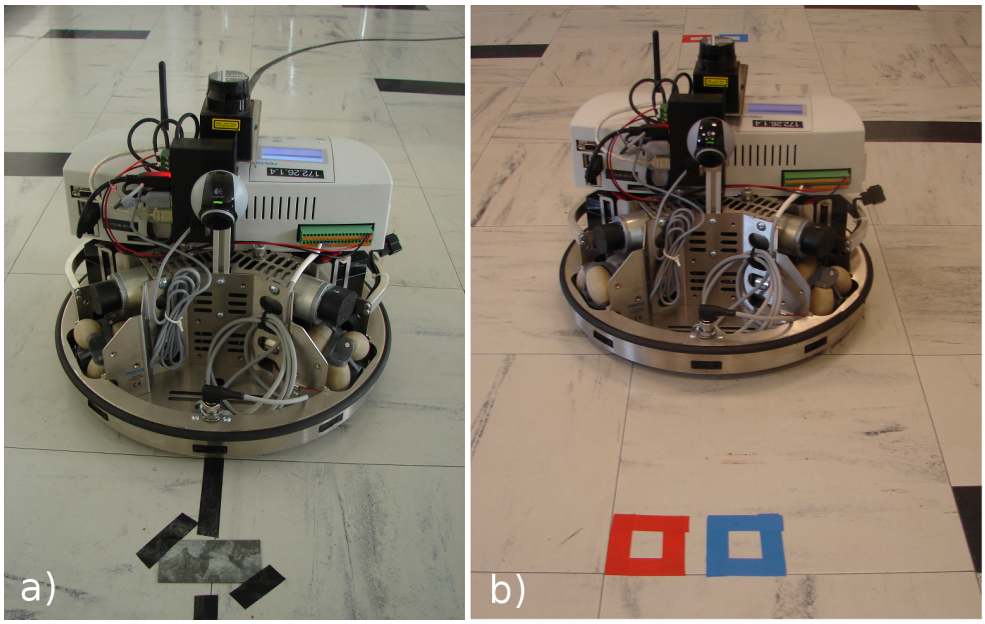


FIGURE 7 – Projets. a) Suivi de lignes. b) Localisation relative et absolue.

À la fin des séries de Tps, les étudiants doivent fournir un compte rendu décrivant les

algorithmes mis en œuvre. Le module est évalué sur ce compte rendu et sur les observations du comportement des étudiants lors des séances de Tps (motivation, autonomie, pertinence des solutions proposées, qualité de la programmation,...).

3.3 Évaluation du module par les étudiants

Ce module a fait l'objet d'une évaluation par les stagiaires dans le cadre de la certification ISO 9001 du service de formation continue et alternance de l'IUT de Rennes (SFCA). Le formulaire est accessible sur la plateforme Moodle de l'université de Rennes 1 et les stagiaires y accèdent en ligne pour répondre à un certain nombre de questions relatives à l'adéquation du contenu du module avec les applications rencontrées dans l'industrie ou l'entreprise, le niveau, la durée de la formation, la méthodologie de travail,... Chaque question est associée à une échelle de Lickert et d'un champ de réponse libre.

Pour l'année 2013-2014, nous avons recueilli 17 réponses complètes sur 26. La synthèse des réponses a mis en exergue les remarques suivantes (les pourcentages dans le texte correspondent à la proportion des réponses par rapport au nombre de répondants, les phrases entre guillemets sont issues des remarques libres des stagiaires).

Pour tous (100%), les objectifs pédagogiques ont été atteints. Le niveau de l'enseignement a été jugé comme adapté. Le rythme de l'enseignement a été considéré satisfaisant (93%) même si certains stagiaires auraient préféré avoir un plus de temps pour assimiler certaines notions (en particulier, celles qui demandaient une formalisation mathématique) ou pour finir certains exercices. La contribution de l'ingénieur de BA systèmes a été soulignée, ainsi que l'aspect « ludique et concret » du module, et pour finir l'apport « de bonnes bases en robotique mobile ».

Les critiques ont essentiellement porté sur :

- Le « manque de documentation de synthèse ou de tutoriel » sur le Robotino. Il est vrai que les enseignants incitaient les étudiants à se référer à la documentation en ligne pour obtenir des informations sur les fonctions de la librairie.
- L'insuffisance des prérequis en mathématiques et en programmation pour certains stagiaires (21%).
- Le choix du langage de programmation graphique (Robotino View) car « pas assez de lien avec le monde de l'industrie ». Notre réponse fut d'expliquer que si le logiciel Robotino View restait dédié au robot Festo, les logiciels graphiques étaient, d'une manière générale, de plus en plus répandus dans certains secteurs de l'industrie (par exemple Labview). Cette critique relevait à notre sens, davantage de l'expression d'une difficulté dans la construction des algorithmes (un blocage similaire avait d'ailleurs été constaté dans les TP d'instrumentation ou de vision utilisant le logiciel LabView).
- Certains stagiaires ont montré un manque de motivation par rapport à leur propre vécu dans l'entreprise (« pas de robot dans mon domaine »).

4 Conclusion

Nous avons élaboré un module montrant les fondamentaux de la robotique mobile à des étudiants de Licence Professionnelle en Mécatronique en alternance. Afin de préserver la crédibilité de la formation auprès des entreprises de tutelle de nos étudiants, nous avons choisi un enseignement sous la forme d'une conférence donnée par un ingénieur travaillant dans le domaine de la robotique mobile et d'une série de Travaux Pratiques autour d'une cible, le Robotino, de la société Festo. Ces travaux pratiques permettent aux stagiaires de comprendre et de renforcer des notions telles le modèle cinématique, la pose, la trajectoire, les liens entre capteurs et les actions, etc. Les retours de nos étudiants sont très positifs. Les difficultés rencontrées par certains stagiaires sont essentiellement liées à leur niveau de mathématiques et de programmation. Malgré tout, des solutions intéressantes sont élaborées basées sur l'intuition et une étude parfois plutôt par tâtonnement expérimental que théorique.

Références

[1] BA Systèmes. `http://www.basystemes.com/`.

[2] Philip K. Dick. *Do Androids Dream of Electric Sheep ?* 1968.

[3] Meito. `http://www.meito.com/`.

[4] Edixia. `http://www.edixia.fr/`.

[5] Lego Mindstorms. `http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx`.

[6] R. Orjuela, J.-P. Lauffenburger, E . Hueber, and J.-P. Urban. La place des robots LEGO dans l'enseignement supérieur : un retour d'expérience dans trois contextes différents. In *CETSIS*, pages 273–278, Caen, 2013.

[7] J.-L. Dillenseger and C. Toumoulin. Un tempo de Reel sur un rythme de Java. *J3eA*, 12(13) :6 pages, 2013.

[8] Kaphera. `http://www.k-team.com/`.

[9] Arduino. `http://www.arduino.cc/fr/`.

[10] Festo Didactic. `http://www.festo-didactic.com/fr-fr/materiel-pedagogique/`.

[11] Wany Robotics. `http://www.wanyrobotics.com/robots.html`.

[12] Robosoft. `http://www.robosoft.com/products/indoor-mobile-robots/robulab/robulab-10.html`.

[13] Roberto Ierusalimschy, Luiz Henrique de Figueiredo, and Waldemar Celes Filho. Lua - an extensible extension language. *Software : Practice & Experience*, 26(6) :635–652, June 1996.

[14] LUA. `http://www.lua.org/`.