



**HAL**  
open science

## **E pur si muove ou L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique**

Jean-Louis Dillenseger, Christine Toumoulin, Pauline Hamon

### ► **To cite this version:**

Jean-Louis Dillenseger, Christine Toumoulin, Pauline Hamon. E pur si muove ou L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique. 11ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sineces de l'Information et des Systèmes - CETSIS 2014, Oct 2014, Besançon, France. hal-01079899

**HAL Id: hal-01079899**

**<https://hal.science/hal-01079899v1>**

Submitted on 4 Nov 2014

**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.

# E pur si muove

ou

## L'enseignement de la robotique mobile en Licence professionnelle en Mécatronique

Jean-Louis Dillenseger, Christine Toumoulin, Pauline Hamon\*  
jean-louis.dillenseger@univ-rennes1.fr  
Adresses : IUT Rennes, dpt GEII, rue du Clos Courtel, Rennes  
BA Systèmes, Mordelles

**RESUME** : Ce papier concerne l'enseignement d'un module sur la robotique mobile enseignée dans le cadre de la Licence Professionnelle en Mécatronique de l'IUT de Rennes.

**Mots clés** : Robotique mobile, Licence Professionnelle, mécatronique

### 1 INTRODUCTION

La Licence Professionnelle Mécatronique en alternance de l'IUT de Rennes<sup>1</sup> a pour objectif de former des futurs cadres techniques qui iront œuvrer en qualité d'Assistant – chef de projet – sous la responsabilité d'un ingénieur. La particularité de la Mécatronique, et donc des futurs diplômés, est d'être à l'interface entre l'électronique, l'automatisme et la mécanique. L'enseignement se devra donc d'être le plus pluridisciplinaire possible afin que le futur diplômé puisse pouvoir dialoguer au sein de son entreprise avec les spécialistes des différents domaines comme la conception mécanique les systèmes automatisés, la robotique, la vision industrielle, les capteurs, etc.

Depuis son passage en alternance, en 2008, la Licence Professionnelle a eu comme volonté de renforcer son enseignement en robotique. Si le domaine de la robotique manufacturière est bien connu et commence à faire l'objet d'offres de formation à différents niveaux, Il nous a également semblé intéressant d'ouvrir, à côté d'un enseignement en robotique manufacturière, une initiation à la robotique mobile.

En effet, les robots mobiles sont de plus en plus présents non seulement dans le monde de l'industrie mais également dans la vie quotidienne (aspirateur, robot de tonte, drone,...). Certains robots mobiles permettent de réaliser des tâches pénibles (manutention, robots ménagers, agriculture,...) ou dangereuses (déminage, centrales nucléaires,...) pour l'homme, d'évoluer dans des mondes inaccessibles à l'homme (espace, grande profondeur,...) ou de lui porter assistance (robot médicaux, robots d'assistances,...), voire de l'espionner<sup>2</sup> (drone). L'essor de la robotique de service a fait qu'actuellement, le nombre de robots mobiles a largement dépassé celui de robots manufacturiers. Mais même dans le monde industriel la robotique mobile connaît un grand essor par le biais de solutions de logistique autonomes (Chariots automatiques -AGV-, ...).

Du fait de cette montée en puissance des solutions de logistique mobile automatisé, nous avons décidé de proposer à nos étudiants un module sur la robotique mobile. 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] qui est un des leaders européens de réalisation de systèmes logistiques par chariots automatiques.

Dans ce papier nous allons vous présenter dans un premier temps la Licence Professionnelle en Mécatronique, l'origine et le niveau des étudiants qui suivent cette Licence et les attendus en termes de compétences en robotique mobile que nous souhaitons apporter à nos étudiants. Dans un second temps, le choix du contenu et de la cible applicative sera discutée. Nous présenterons finalement brièvement le contenu de la formation suivi par les étudiants.

### 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-

<sup>1</sup> Elle découle d'un partenariat entre les département GEII et GMP de l'IUT de Rennes, du dpt mécanique de l'Université de Rennes, du Lycée Joliot-Curie de Rennes et de l'ENS de Rennes.

<sup>2</sup> Et plus si pas d'affinités.

techniques (suivi de l'installation, mise en œuvre et réglage des différents modules, maintenance et prospective d'évolution). La Licence est à viser professionnelle, ce qui veut dire que peu d'étudiants vont poursuivre leurs études (1 étudiant 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 niveau d'études des étudiants qui intègrent la formation est celui de Technicien Supérieur (titulaire d'un DUT GEII, GIM ou GMP ou d'un BTS ARS, MI, électrotechnique, ...). Un certain nombre de ces étudiants sont déjà issus d'un enseignement par alternance.

L'origine de nos étudiants peuvent les mettre en difficulté sur aux moins deux domaines abordés par la robotique mobile : le formalisme mathématique des différents aspects de cette matière et la programmation des robots.

Pour certains, les Mathématiques ont toujours représenté une matière réputée difficile avec une utilité ou une finalité qui n'est pas concrète. Généralement, et quelle que soit la matière, le passage à l'abstraction ou la généralisation par les mathématiques est au mieux considéré comme inutile.

Seuls parmi ces étudiants, les titulaires d'un DUT GEII ont reçu une formation préalable en programmation algorithmique relativement poussée. Pour les autres, l'algorithmie se résume habituellement la programmation d'automates dans des langages relativement bas-niveau. Les deux premières semaines de la formation sont réservés à une remise à niveau des étudiants en fonction de leur diplôme d'origine (automatisme, électronique, mathématiques, etc.). Nous y proposons également un module de 30h d'algorithmie en utilisant le langage C. Malgré le ressenti très positif de cet enseignement par les étudiants, nous sommes bien conscients que ce module n'est qu'une introduction à l'algorithmie et est généralement insuffisant à la programmation des robots mobiles dont les interface de programmation (API) sont en langage orienté objets comme le C++ ou le C#.

## 2.2 Choix du contenu du module

L'idée préalable que nous avons de ce module était de former nos étudiants non pas à la conception de robot mobile mais plutôt à l'intégration d'un robot mobile dans son environnement.

Afin que nos étudiants puissent communiquer avec des spécialistes de la robotique mobile, nous voulions que l'étudiant soient capables d'apprendre et de comprendre les notions d'un 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, capteur magnétiques et caméras).

Certains 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

Le premier critère de choix de la cible a été de trouver du matériel qui se rapproche le plus possible de solutions existantes dans le monde industriel. En effet, notre licence étant un enseignement par alternance, nous nous devons d'avoir une certaine crédibilité par rapport aux entreprises qui embauchent nos étudiants durant la formation. C'est ainsi que des solutions comme les robots Légo Mindstorms [2-3], Kaphera [4] ou des plate-formes mobiles basées sur des cartes Arduino [5], ... ont été écartées.

Nous avons retenus trois solutions qui nous semblaient répondre à nos attentes : le Robotino de la marque Festo [6], Le Pekee de Wany Robotics [7] et le RobuLAB-10 de Robosoft. Après 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 nous on conduit à choisir le Robotino de la marque Festo [6] (fig.1).



fig 1 : Robot mobile Robotino [6]

Festo est bien implémenté dans le monde industriel pour ses produits liés à l'automatisme. 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-111 sous UNIX, 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

Nous voulions donner les informations les plus à jours sur la robotique mobile dans le monde industriel. Ces informations ont été transmises sous la forme d'une conférence de 4h donnée par un ingénieur de la société BA Systèmes. La conférence a porté sur :

- la définition de la robotique mobile et sur les différents types de robots mobiles que l'on trouve dans l'industrie ou dans les loisirs et services. Une typologie des robots mobiles en fonction du moyen de locomotion y est donné.
- Les robots mobiles à roues. 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.
- 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 essaye 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.

Nous n'avons abordés 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.).

Les Tps se sont déroulés sur 5 séances de 4h. Les trois premières séances ont été élaborées sous une forme relativement guidée afin de favoriser l'apprentissage des différentes notions, les deux dernières étant plutôt sous la forme de petits projets mettant en œuvre les différents capteurs.

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 robotino view, le langage de programmation. Un exemple de programmation projeté par vidéo projecteur leur permet de comprendre la structure d'un programme : programme principal sous la forme d'un grafctet et module sous la forme d'une association de bloc fonctions.

Les Tps ont ensuite abordé le modèle cinématique du robotino. À partir des formules données en cours les étudiants devaient programmer le module permettant de calculer la vitesse de rotation à donner aux trois moteurs à partir d'une consigne de vitesse (translation en x et y et rotation). Cette programmation se faisait dans un bloc de script Lua [10]. Les scripts Lua étant écrits en C ANSI, les étudiants ont rapidement pu programmer les fonctions de transfert en s'aidant de la documentation en ligne du site de Lua. Les étudiants ont ensuite pu comparer leur propre script Lua avec la fonction équivalente « navigation omnidirectionnel » de robotino view.

L'étape suivante a été le contrôle de la navigation à l'aide de l'odomètre fourni par robotino view. Des trajectoires spécifiques (avance-recul sur 1 m 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 : « parcourer de positions » (d'une pose à une autre pose du robot) et « parcourer 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. Ceci a permis de sensibiliser les étudiants aux lois de commande des robots mobiles.

Les étudiants ont ensuite calibré les capteurs de distance 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. Dans un second temps il a été demandé aux étudiants d'arrêter le robot à 10 cm d'un mur. L'idée est que les étudiants définissent eux même la loi de commande (une fonction

de transfert linéaire seuillée) associant la mesure de la distance à la consigne de vitesse du robot. L'étape suivante est alors de longer le mur avec une certaine vitesse de consigne tout en restant à 10cm du mur. Il est à noter que le mur présente des obstacles. Les étudiants doivent réfléchir à un repère de vitesses de commande (vitesse  $V_T$  constante parallèle au mur ou à l'obstacle et vitesse  $V_{dist}=f(dist)$  maintenant le robot à 10 cm du mur, voir fig 2) qui s'oriente en fonction du capteur infrarouge le plus proche du mur. Ce repère est ensuite projeté sur les axes  $x$ ,  $y$  du robot afin de définir les vitesses permettant d'éviter les obstacles.

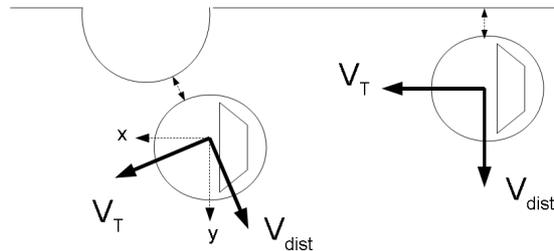


fig 2 : Consigne de vitesses de suivi de mur.

Un travail identique est demandé en utilisant la nappe laser.

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

Ainsi le suivi de ligne. Sur le sol, une ligne présentant des courbes est tracée sur le sol à l'aide d'un ruban adhésif noir. Des petites plaques de métal sont également fixées aux bouts de la ligne. L'objectif du projet est que le robot suive la ligne à l'aide de la vision jusqu'à détecter une plaque métallique. Le robot fait alors demi-tour et repart en sens inverse. La détection de la ligne n'est pas un problème en soit vu que Robotino View propose une fonction qui, pour des conditions d'éclairage et de contraste normales, donne la position centrale de la ligne dans une bande horizontale de l'image. La difficulté pour les étudiants est alors de trouver la loi de commande en vitesse du robot en fonction de cette information sur l'image (généralement une fonction de transfert entre le décalage et la vitesse angulaire de rotation du robot. La calibration du capteur inductif était également un des problèmes généralement négligé dans un premier temps par les étudiants.

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. 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.

Pour les étudiants les plus avancés, des sujets de synthèse sont proposés : simulation d'une station de chargement avec un suivi de ligne et une approche précise de la station à l'aide des mesures de distances ; gestion d'un obstacle lors de la navigation, etc.

À la fin des séries de Tps, les étudiants doivent nous fournir un compte rendu. Le module est évalué sur ce compte rendu et sur les observations du comportement des étudiants lors des séances de Tps.

### 3.3 Évaluation du module par les étudiants

Dans le cadre de la certification ISO 9001 du service de formation continue et alternance de l'IUT de Rennes, nous développons une procédure d'évaluation formelle par les étudiants de différents modules proposées par la formation. En 2014, entre autres modules, nous avons proposé aux étudiants de nous donner leurs impressions sur la robotique mobile. Les étudiants accèdent en ligne sur la plate-forme moodle de l'Université de Rennes 1 aux différents questionnaires sur les modules. Différents points sont abordés tels l'adéquation entre formation et entreprise, le niveau, la durée de la formation, la méthodologie de travail,... Les étudiants répondent à ces points sous la forme de questions associée d'une échelle de Lickert suivi d'un champ de réponse libre.

Un créneau avec présence obligatoire est aménagé dans l'emploi du temps pour imposer aux étudiants de répondre aux différents formulaires. Les enseignants présents rappellent aux étudiants l'intérêt de remplir les champs de réponses libres. Nous avons recueilli 17 réponses complètes concernant le module de la robotique mobile. La synthèse des réponses est la suivante :

Pour tous, les objectifs pédagogiques ont été atteints. Le niveau de l'enseignement a été jugé comme adapté. Par contre, certains étudiants se sont plaints d'un manque de prérequis en mathématiques et en programmation.

Le rythme de l'enseignement a été jugé adapté même si des étudiants auraient préféré avoir un plus de temps pour assimiler les notions (surtout les points qui demandaient une formalisation mathématique) ou pour finir certains Tps.

Concernant le déroulement des Tps, les plus grandes critiques ont porté sur « un 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 du robotino en ligne qui détaille les fonctions sans peut être donner une vision globale d'un programme et surtout ne donnait pas de réponses toutes faites à leur problématique.

A deux exceptions près, la formation a été jugée très concrètes. L'apport de l'ingénieur de BA systèmes a été souligné. Les points négatifs sont un manque de motivation par rapport à leur propre vécu dans l'entreprise (« pas de robot dans mon domaine ») et le langage graphique de programmation.

En conclusion, les points positifs soulignés par les étudiants étaient le côté à la fois « ludique et concret » du module, avec beaucoup de pratiques et qu'il donnait « de bonnes bases en robotique mobile ». Le point faible mentionné par certains étudiants porte sur le langage informatique, Robotino View, qui n'avait « pas assez de lien avec le monde de l'industrie ». Concernant ce point, notre sentiment est que ces étudiants se sont très rapidement bloqués voire braqués contre le langage de programmation graphique (un comportement similaire avait d'ailleurs été constaté lors de certains TP en instrumentation ou en vision utilisant LabView). Pour ces étudiants, ce qui devait, à notre sens, faciliter les aspects d'analyse et de résolution des problèmes

#### **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 étudiants 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 semblent très positifs.

#### **Bibliographie**

- [1] <http://www.basystemes.com/>
- [2] <http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>
- [3] R. Orjuela, J.-P. Lauffenburger, E Hueber, J.-P. Urban, "La place des Robots LEGO dans l'enseignement supérieur : un retour d'expérience dans trois contextes différents", *CETSI 2013*, Caen 2013.
- [4] <http://www.k-team.com/>
- [5] <http://www.arduino.cc/fr/>
- [6] <http://www.festo-didactic.com/fr-fr/materiel-pedagogique/>
- [7] <http://www.wanyrobotics.com/robots.html>
- [8] <http://www.robotsoft.com/products/indoor-mobile-robots/robulab/robulab-10.html>
- [9] <http://www.lua.org/>