

La place des Robots LEGO dans l'enseignement supérieur : un retour d'expérience dans trois contextes différents

Rodolfo ORJUELA¹, Jean-Philippe LAUFFENBURGER¹, Eric HUEBER², Jean-Philippe URBAN³

rodolfo.orjuela@uha.fr

^{1,2,3} Université de Haute-Alsace

¹ Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace (ENSISA)

12, rue des frères Lumière

² Institut Universitaire de Technologie de Mulhouse (IUT)

61, rue Albert Camus

³ Faculté de Science et Techniques (FST)

4, rue des frères Lumière

F-68093 MULHOUSE CEDEX

RESUME : l'utilisation des plateformes pédagogiques, permettant d'appliquer les enseignements théoriques, constitue un élément essentiel dans la formation universitaire. Depuis plusieurs années, les robots LEGO[®] Mindstorms NXT sont utilisés à l'Université de Haute-Alsace en tant que support pédagogique, dans le cadre des enseignements d'automatique et d'informatique industrielle proposés à trois niveaux de formation : en 1^{ère} et 2^{ème} année d'IUT, à la Faculté de Sciences et Techniques au niveau licence/master et à l'école d'ingénieurs dans les 3 années du cursus. Cette communication a pour objectif de partager l'expérience pédagogique cumulée grâce à l'utilisation du même support pédagogique pour des enseignements scientifiques connexes dans trois contextes différents.

Mots clés : Retour d'expériences, Robot LEGO[®] NXT, Automatique, Informatique Industrielle, Pédagogie active

1 INTRODUCTION

La validation par l'expérience des enseignements théoriques constitue une phase fondamentale dans la formation universitaire liée aux sciences de l'ingénieur. Bien souvent, les enseignants sont confrontés à la difficulté de trouver une maquette pédagogique qui soit à la fois pluridisciplinaire, intéressante, modulable, évolutive, robuste et à coût raisonnable (aussi bien du point de vue de l'investissement initial que de sa pérennisation et de l'investissement humain nécessaire à son exploitation). A l'heure actuelle, peu de supports pédagogiques disponibles sur le marché présentent un bon compromis entre ces aspects.

La gamme des Robots LEGO[®] Mindstorms NXT (R-NXT), a été présentée en 2006 comme un jouet relativement *sophistiqué* destiné au public des plus de 8 ans. Cette nouvelle édition tourna la page du LEGO RCX qui avait fait l'objet de précédentes publications axées sur l'apprentissage de l'informatique industrielle [9, 10]. Grâce au développement d'outils de programmation variés (cf. Section 2), cette plateforme s'est avérée un support pédagogique attractif permettant en outre de répondre aux besoins liés aux enseignements en automatique et en informatique industrielle. En effet, les possibilités offertes vont de la construction mécanique d'un robot jusqu'à sa programmation en passant par l'étude des capteurs, la synthèse de lois de commande, le traitement du signal, etc. De plus, son caractère lu-

dique le rend particulièrement adapté aux enseignements pratiques avec un prix d'achat raisonnable¹.

Un nombre important d'expériences pédagogiques menées depuis plusieurs années dans l'enseignement primaire, secondaire et supérieur a montré l'intérêt des R-NXT en tant que support pédagogique. Un retour d'expérience sur l'utilisation des R-NXT dans un projet collaboratif entre les étudiants de la *St. Petersburg State University* et le *St. Petersburg Phys&Math Lyceum #239* est présenté dans [1]. Dans le même esprit, l'utilisation des R-NXT par des écoliers encadrés par des étudiants d'IUT est présentée dans [6]. Une démarche pédagogique globale très intéressante pour les enseignements de Matlab[®]/Simulink[®] et du traitement numérique du signal au sein de l'*Aachen University* est proposée dans [4]. Sur ce point, *Aachen University* est sans doute l'un des précurseurs dans l'emploi des R-NXT pour l'apprentissage de Matlab[®]. Une *toolbox* Matlab[®] *RWTH* a été développée dans le cadre de cette expérience. Par ailleurs, les R-NXT sont bien adaptés à la mise en pratique des techniques de guidage, de navigation et de commande des robots mobiles [3]. Ils s'avèrent également intéressants pour l'enseignement des techniques de commande avancée. Un exemple d'exploitation des R-NXT pour la commande adaptative est illustré dans [2]. Il convient de remarquer toutefois que peu de retours d'expérience sur l'utilisation des R-NXT dans différents contextes de l'enseignement

¹ Il faut compter 400 Euros pour l'achat d'un kit de base et de l'alimentation rechargeable.

supérieur français semblent disponibles dans la littérature, d'où la motivation de cette communication.

Depuis plusieurs années, les R-NXT sont mis à profit en tant que support pédagogique dans les enseignements d'automatique et d'informatique industrielle au sein de l'Université de Haute-Alsace (UHA). Ces enseignements sont dispensés à l'UHA au sein du département GEii de l'IUT de Mulhouse, de la Faculté de Sciences et Techniques (FST) et à l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace (ENSISA). Le même support pédagogique est ainsi utilisé pour des enseignements de même nature mais à trois stades différents dans l'enseignement supérieur. L'expérience que nous avons pu ainsi cumuler jusqu'à présent nous permet de dresser le bilan pédagogique décrit dans cette communication.

Cet article est structuré comme suit. Une courte présentation du R-NXT est donnée en Section 2. Le contexte d'utilisation ainsi que les différentes démarches pédagogiques mises en œuvre à l'UHA sont exposées dans la Section 3. La Section 4 est dédiée à une discussion sur les résultats obtenus, les difficultés rencontrées. La Section 5 synthétise ce papier et décrit les perspectives d'évolution de l'emploi des R-NXT à l'UHA.

2 PRESENTATION DU ROBOT NXT

Un R-NXT peut être équipé dans sa configuration de base de trois servomoteurs et de quatre capteurs. Deux des servomoteurs sont généralement utilisés pour la mobilité du robot (le faire avancer, reculer ou tourner), le troisième moteur est exploité pour la mobilité d'un organe terminal, par exemple la fermeture d'une pince, etc. Les quatre capteurs de base permettant au robot de *percevoir* son environnement sont : un capteur de contact, un capteur de distance à ultrasons, un capteur photosensible et un capteur sonore. Il existe à l'heure actuelle une large gamme de capteurs (gyroscope, compas, boussole, etc.) et de caméras compatibles avec les R-NXT et permettant d'augmenter les possibilités initialement offertes par le kit de base. Ces capteurs et actionneurs sont gérés par un microcontrôleur comportant entre autres, 4 ports d'entrée, 3 ports de sortie, 1 port USB et une communication Bluetooth. Cette dernière permet d'effectuer une communication entre un ordinateur et le R-NXT afin, par exemple, de déporter les traitements informatiques lourds. Elle peut servir également pour établir une communication entre deux Robots.

À l'origine, la brique NXT ne pouvait se programmer qu'à l'aide du logiciel Mindstorms NXT-G (environnement graphique de programmation fourni par le constructeur). Au fil du temps, des outils de programmation s'appuyant sur des langages de programmation fonctionnels ou objets (C, NXC², Matlab[®]/Simulink[®], JA-

VA, C++, etc.) en mesure de mieux exploiter les possibilités offertes par les R-NXT ont vu le jour. Cette évolution logicielle a largement contribué à l'utilisation des Robots dans un contexte pédagogique. Il devient en effet possible d'adapter l'environnement de programmation au niveau de formation des étudiants et à la complexité des enseignements visés. Un état de l'art sur les environnements de programmation actuellement disponibles est proposé dans [5].

3 LE ROBOT NXT A L'UHA

Cette section est consacrée à la présentation des expériences d'utilisation des R-NXT dans différents contextes de l'enseignement supérieur à l'UHA.

3.1 Expériences pédagogiques à l'IUT Dép. GEii

Le département GEii de l'UHA s'est équipé des R-NXT en 2008. Lors de la première année, une compétition trinationale entre des équipes de Suisse (Windisch), d'Allemagne (Furtwangen) et de France (Mulhouse) a été organisée par le département GEii. Suite à cet événement, nous avons poursuivi leur exploitation dans le cadre de nos travaux pratiques (automatique séquentielle, asservissements, programmation, etc.) ou lors d'opérations de vulgarisation de la science (Fête de la Science, etc.). Nous développerons ici deux applications pédagogiques, à savoir, un TP et un challenge robotique.

Travail pratique 2^{ème} année de DUT GEii. Depuis 2009 les R-NXT font l'objet d'un TP dans le module d'asservissements. Ce TP a plusieurs objectifs tels qu'appliquer l'analyse fonctionnelle de systèmes à un cas concret, comprendre la différence entre régulation et asservissement, programmer une loi de commande avec le langage graphique NXT-G puis NXC et enfin exploiter les boucles multiples et la commande feedforward. Le sujet proposé consiste à étudier et à programmer un robot à deux roues muni d'un capteur de lumière afin qu'il soit capable de suivre une ligne. Si, au premier abord, le contenu de ce TP peut sembler similaire à celui proposé à l'ENSISA (cf. Section 3.3), il se différencie toutefois par le niveau des outils théoriques et mathématiques utilisés ainsi que par la démarche pédagogique proposée.

Dans ce TP en effet, les étudiants commencent par analyser d'autres robots en visionnant certaines vidéos. À partir de leurs observations, une l'analyse fonctionnelle est réalisée afin d'établir des blocs-diagramme décrivant le fonctionnement des différentes parties des robots (capteurs, actionneurs, etc.). Cette analyse sert alors de base pour la programmation de la stratégie de commande permettant d'effectuer le suivi de ligne. Pour ce faire, ils sont amenés à créer deux lois de commande différentes, deux régulations complémentaires propres aux moteurs droit et gauche. Ils doivent ensuite créer une commande supplémentaire de type feedforward afin d'asservir le robot en vitesse. Au

² NXC (NoteXactlyC) : langage de programmation proche du langage C.

cours de ce TP, les étudiants sont sensibilisés à l'impact que peut avoir la conception structurelle du robot (souplesse mécanique, position des capteurs) ou les perturbations externes (luminosité ambiante) sur le comportement et les performances.

Défi NXT inter-GEii³. En octobre 2011, nous avons lancé un challenge NXT entre les départements GEii de plusieurs IUTs. Notre volonté était de créer une rencontre de robotique à distance en s'appuyant sur les outils de communication numériques modernes. Le concours est placé en début d'année universitaire et concerne les primo-entrants. Ainsi les étudiants sont très tôt invités à former des équipes, à s'organiser entre eux et ont un objectif ludique commun en ligne de mire avant les vacances de la Toussaint. Cela peut potentiellement améliorer l'insertion des étudiants dans leur promotion et éviter les abandons précoces constatés depuis quelques années en IUT.

Les équipes ont la possibilité d'intégrer un mentor. Ce doit être un étudiant d'un niveau supérieur, par exemple, un étudiant en deuxième année, en Licence, en Master ou encore en école d'ingénieur. Cette ouverture permet aux équipes de se renseigner sur la poursuite de leurs études et découvrir les formations post DUT vers lesquelles ils pourront s'orienter.



fig. 3.1 Défi NXT inter-GEii

Afin de gérer ce défi de 4 h à distance, un wiki⁴ a été mis en place sur le site de l'UHA où les équipes postent la description de leur projet en photos et vidéos. Parallèlement, un groupe Facebook⁵ permet de communiquer avec les autres étudiants, pour créer virtuellement l'ambiance d'une grande salle où ils seraient tous coude à coude. Le jury, composé d'enseignants encadrant les équipes (un par IUT), étudie les contributions sur le wiki et classe les projets. Le projet le plus abouti bénéficie d'un prix offert par un partenaire privé.

Le sujet de la compétition 2011 était « Le berger de l'espace ». L'objectif était de récupérer un satellite dans une zone de météorites pour le ramener dans une zone plus sûre en assurant 4 phases : la détection du satellite, sa récupération, l'évitement du vaisseau mère et le largage dans la zone de sécurité. 16 équipes ont participé à cette première édition et déjà plus de 20 équipes sont inscrites pour la nouvelle édition. Ce défi permet de confronter les étudiants aux contraintes imposées par

un projet réel. Ils découvrent ainsi un nouvel outil, la programmation, de nouveaux logiciels, des soucis d'organisation, de gestion de temps, etc.

3.2 Expériences pédagogiques en Licence/Master EEA

La Faculté des Sciences et Techniques de l'UHA propose une Unité d'Enseignement (UE) d'introduction à la robotique mobile basée sur les R-NXT. Elle est proposée comme une UE découverte au L2 Mécanique et EEA et comme une UE transversale au niveau Master 1 Automatique et Informatique Industrielle.

L'UE comporte deux séances de cours présentant les principales approches de la robotique mobile (hiérarchique, réactive, hybride) et une série de projets proposée sous forme de TPs comprenant à l'issue un aspect de compétition intergroupe. Sur l'ensemble de l'UE (environ 4 mois), les étudiants travaillent successivement sur 4 à 5 projets, de difficulté et d'ampleur croissantes. Les sujets des projets proposés sont : 1) Véhicule de Braintenberg (introduction à la robotique), 2) Course de vitesse (asservissement du robot), 3) Lancé de balle dans un panier (asservissement), 4) Exploration d'un tunnel (proprioception-extéroception) et 5) Cartographie d'un Labyrinthe.

Malgré la différence importante entre les niveaux L2 et M1, la formulation générale des projets et des missions reste similaire (e.g. exploration d'un tunnel, cartographie d'un labyrinthe), notamment en termes de construction robotique. La complexité du projet est alors adaptée suivant les connaissances des étudiants. Au niveau M1, les pré-requis sont acquis pour réaliser directement des projets mettant en œuvre leurs connaissances en automatique, informatique et informatique industrielle. En revanche, plusieurs TDs menés en parallèle avec les projets sont nécessaires en Licence 2 afin d'introduire les bases de la programmation avec le langage NXC (e.g. structures de contrôle, capteurs, programmation par événement, etc.). La répartition du volume horaire pour les étudiants en L2 est de 4 h de cours, 6 h de TDs et de 20 h TP. Elle est de 4 h de cours, 2 h de TDs et de 24 h TP pour les étudiants en M1.

Dans la démarche pédagogique proposée, un kit R-NXT est confié à chaque binôme d'étudiants pour l'ensemble du semestre. Les étudiants s'engagent, par un contrat moral, à prendre soin du kit et à le rendre en bon état à l'issue de la séquence de TPs. Il est important en effet de responsabiliser et de faire confiance aux étudiants. Pour parvenir à un résultat intéressant, ils doivent fournir entre 50-60 h de travail personnel pour les 20 h encadrées. En effet, les parties conception et construction du système mécanique, programmation et mise au point des algorithmes sont principalement réalisées en travail personnel en-dehors des heures de cours. Il convient de remarquer qu'en pratique, le travail personnel dépasse largement le volume estimé. Les heures d'enseignement encadrées sont réservées à la

³ <http://www.definxt.com>

⁴ <http://www.dokuwiki.org/>

⁵ <http://goo.gl/3GqWU>

discussion sur les principes, les solutions possibles, la résolution de problèmes et à la présentation du travail de chaque équipe lors d'une démonstration, suivie d'une compétition inter-équipe si le projet le permet (e.g., course de vitesse, lancé de balle dans un panier). L'évaluation de chaque projet se fait sur la démonstration, le rapport écrit justifiant la démarche et les solutions apportées, et parfois un bref exposé oral (5-7 mn avec transparents) afin de défendre les idées devant les autres équipes. Dans ce qui suit, nous illustrons nos propos en présentant un projet d'introduction et un projet avancé⁶.

Projet d'introduction : véhicules de Braitenberg. Dans son ouvrage *Véhicules*, Braitenberg [8] laisse entendre que les machines (robotiques ou biologiques) peuvent forger des comportements de complexités croissantes, résultant des connexions neuronales entre organes de perception et actionneurs. Il développe ses idées en montrant comment ces comportements peuvent être implémentés en utilisant des capteurs de lumière et des moteurs.



fig. 3.2 Véhicule de Braitenberg

Un projet d'introduction à la robotique mobile est proposé afin d'illustrer le principe d'un véhicule de Braitenberg en construisant une créature robotique qui soit attirée par la lumière. En pratique, le robot, partant d'une position initiale donnée, doit s'approcher d'une source lumineuse et s'arrêter dans un rayon de 15 cm de la source. Ce premier TP permet aux étudiants de se familiariser avec le kit R-NXT et l'environnement de programmation tout en illustrant un comportement de type approche réactive utilisée en robotique mobile.

Projet avancé : cartographie d'un labyrinthe. Le but de ce projet est de construire un robot capable d'explorer un labyrinthe totalement inconnu et d'en ressortir avec une carte bien renseignée, utilisable par d'autres. Ce projet est intéressant à plus d'un point de vue. En effet, l'exploration du labyrinthe met en question les qualités odométriques du robot, c'est-à-dire, jusqu'à quel point le robot est-il capable de se déplacer en ligne droite et de tourner à angle droit en se basant uniquement sur les données des capteurs de rotation des actionneurs, sachant que le seul capteur extéroceptif est le capteur à ultra-sons pour se positionner par rapport aux murs. Les étudiants doivent également réfléchir à une stratégie d'exploration basée sur l'exploitation des différents capteurs disponibles (en plus de l'odométrie).

⁶ Une version du sujet de TP peut être fournie sur demande.

L'architecture du robot constitue aussi un point intéressant à étudier dans la mesure où il faut construire un robot capable de tourner sur lui-même dans un espace contraint (largeur labyrinthe 32 cm, hauteur des murs 24 cm).



fig. 3.3 Cartographie d'un labyrinthe

3.3 Expériences pédagogiques à l'ENSISA

Le R-NXT est utilisé à l'ENSISA au sein de la filière Automatique et Systèmes dans le cadre des 3 dernières années de la formation d'ingénieurs. Il sert ainsi comme support pédagogique durant des Travaux Pratiques d'Automatique en deuxième année, des projets en fin de semestre de deuxième année et, depuis peu, pour les enseignements de Matlab[®]/Simulink[®] en première année. Il est ainsi possible d'appliquer, ou de faire découvrir par la pratique, des notions en automatique (commande, etc.), acquisition et traitement de signal ou informatique industrielle. La programmation du Robot est un aspect important dans notre démarche pédagogique afin de tisser un lien cohérent avec les cours d'automatique, de systèmes échantillonnés et de programmation. Dans cette section, nous suivons une démarche chronologique⁷ de présentation des diverses utilisations du R-NXT.

Travaux Pratiques 2^{ème} année. L'emploi du R-NXT à l'ENSISA a débuté par la création d'un sujet de TP d'Automatique de 2^{ème} année. L'objectif du TP⁷, d'une durée de 4 h, est de concevoir une loi de commande numérique permettant de réguler un R-NXT. La stratégie de commande doit permettre au robot de suivre une trajectoire préalablement dessinée sur le sol. Le robot est un système mécaniquement complexe, non-holonyme⁸ lorsqu'il est de type voiture, et sa description mathématique (son modèle) est délicate à obtenir. Nous proposons donc aux étudiants de réaliser un réglage des paramètres du régulateur suivant une démarche empirique et itérative d'essais-erreurs effectués sur le robot. Pour ce faire, différentes stratégies de commande de complexité croissante sont envisagées. Une commande «Tout ou Rien» (ToR), relativement simple mais peu performante, est le point de départ pour aboutir à une commande plus élaborée de type PID numérique de la forme :

$$u_k = K_p \left\{ \varepsilon_k + \frac{T_c}{T_i} \sum_{j=0}^k \varepsilon_j + T_d \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}}{T_c} \right\}, \quad (1)$$

⁷ Relative à l'historique de mise en place des expériences pédagogiques mentionnées.

⁸ Les contraintes géométriques ou cinématiques du robot limitent son déplacement.

où ε_k est l'erreur, T_e la période d'échantillonnage et l'indice k indique l'instant de temps courant. La figure 3.4 illustre à titre d'exemple le passage d'une commande ToR à une commande à gain proportionnel. L'annulation de l'erreur statique se fait par le biais du terme I assorti d'un terme D. Il est ainsi possible de montrer pas à pas les bénéfices des actions P, I et D.

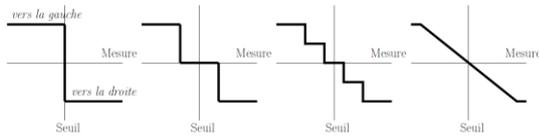


fig. 3.4 : Synthèse évolutive du correcteur

L'accent est également mis sur la programmation (avec NXC) de la loi de commande. Il est ainsi possible de montrer aux étudiants les problèmes posés, par exemple par le choix de la période d'échantillonnage ou d'un temps de calcul trop important. La loi de commande est ciblée sur la brique du robot afin de l'exécuter en temps-réel. Aucune connaissance préalable n'est nécessaire à la prise en main de NXC, cet environnement de programmation étant très intuitif pour des étudiants disposant des connaissances de base de la programmation fonctionnelle. A la fin du semestre, les performances dynamiques des lois de commande synthétisées par les binômes au cours des différentes séances font l'objet d'une compétition lors d'un mini-challenge. L'enseignant participe également à cette compétition avec la loi de commande PID qu'il a synthétisée.

Projets 2^{ème} année. D'une durée de six semaines à temps plein, représentant env. 200 h de travail personnel, ces projets se tiennent à la fin de la deuxième année. D'un point de vue pédagogique, ils marquent un virage entre l'enseignement académique suivi durant l'année et s'appuyant sur la transmission de la connaissance, et un enseignement « constructiviste » [7] (dit « par projet ») où l'étudiant est actif et situé au cœur du processus. En quasi-autonomie, les étudiants sont confrontés à un problème (fourni sous la forme d'un cahier des charges des performances attendues) relativement complexe qui doit être résolu en faisant appel aux savoir-faire et savoirs acquis. A ce stade, l'accent est mis sur le « décloisonnement » des champs disciplinaires abordés durant l'année et leur exploitation pour mener à bien le projet, tant au niveau scientifique, qu'au niveau stratégique (gestion du projet, du planning, communication, etc.). La période de projet se finalise par un exercice de communication où chaque groupe, sur la base d'un poster qu'il a réalisé, présente son travail à l'ensemble des étudiants (de 1^{ère} et 2^{ème} année) et du corps enseignant.

La grande flexibilité des R-NXT rend possible la proposition de sujets relativement évolués et très variés d'une année à l'autre. Citons à titre d'exemple la localisation et la commande du robot à l'aide d'une camera, l'étude des manœuvres de parking automatiques (cf. figure 3.5), etc.

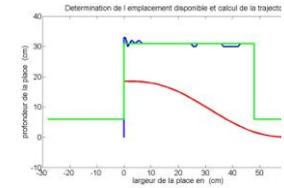
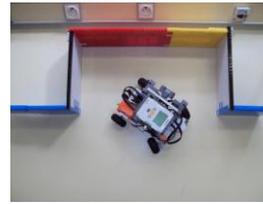


fig. 3.5 : Manœuvre de parking automatique

Projet 1^{ère} année. Depuis peu, le R-NXT sert également de support pédagogique pour les enseignements de Matlab®/Simulink®. En pratique, notre démarche se distingue de celle de Aachen University [4] par le fait qu'elle n'est pas spécifiquement orientée vers la découverte des outils de traitement numérique du signal. Du point de vue organisationnel, les séances ne sont pas non plus regroupées sur une seule semaine et ne sont pas thématiques. Une première phase (au début du 1^{er} semestre) vise à découvrir l'environnement de programmation Matlab®, (de façon indépendante du projet) durant un module de TP de 8 h/étudiant. Dans ce module, l'environnement Matlab® est utilisé pour le calcul mathématique et les concepts essentiels en sciences pour l'ingénieur (calcul matriciel, interpolation, etc.). A l'issue du 1^{er} semestre, les étudiants se voient proposer le cahier des charges du projet s'effectuant sous la forme d'un challenge encadré. Le but pédagogique est d'appliquer, à travers un exemple concret, les concepts liés à la programmation avec Matlab®/Simulink®. Pour ce faire, nous utilisons les outils proposés par The Mathworks⁹.

Chaque équipe, composée d'une dizaine d'étudiants, doit s'organiser en binômes afin de mener le projet. Chaque équipe dispose de deux kits de R-NXT afin de leur permettre de proposer une solution complète satisfaisant aux exigences données. A l'issue de 5 séances encadrées de 2 h et d'un travail personnel d'environ 20 h, un challenge est organisé afin d'évaluer les solutions proposées. Dans ce contexte précis, l'accent est mis sur l'approfondissement de l'utilisation de Matlab® et la découverte de Simulink®, la démarche organisationnelle mise en place par chaque équipe, l'analyse du cahier des charges pour déterminer les activités de chaque binôme et enfin la communication entre les binômes afin d'assurer la convergence vers une solution technique viable.

4 BILAN PEDAGOGIQUE

Bilan pédagogique à l'IUT. Cet outil pédagogique est un atout incontestable tant du point de vue des étudiants que de celui de l'enseignant. Les TPs exploitant le R-NXT font partis des expériences les plus appréciées des étudiants dans la série de TPs d'asservissements. La crainte des étudiants de certaines maquettes pédagogiques liée à leur complexité (en apparence) est gommée par l'aspect ludique du travail sur ces robots. En outre, ils permettent d'illustrer presque

⁹ <http://www.mathworks.fr/academia/lego-mindstorms-nxt-software/>

tous les principes théoriques de la discipline. Côté projets, les R-NXT offrent des possibilités de développement en constante progression.

Bilan pédagogique à la FST. L'UE Introduction à la robotique mobile sous forme de projets avec le R-NXT suscite et maintient l'intérêt des étudiants tout au long du semestre. La preuve de leur motivation est leur investissement en temps et travail, beaucoup ne comptant pas leurs efforts pour essayer d'atteindre de meilleures performances que leurs collègues. Parmi les avantages de cette approche, on peut noter la grande facilité à varier les sujets, à les enrichir, à innover, et ceci sans aucun développement mécanique ou électronique.

Bilan pédagogique à l'ENSISA. Nous tirons un bilan pédagogique extrêmement satisfaisant dans le cadre de nos enseignements. L'importance que revêt la programmation dans les applications d'automatique est clairement mise en évidence à travers des exemples concrets. Les enquêtes réalisées auprès des étudiants (dans le cadre de l'évaluation des enseignements recommandés par la Commission du Titre d'Ingénieur) placent cette maquette parmi les plus appréciées. La principale difficulté provient sans doute d'un manque important d'informations techniques des capteurs (fréquences d'échantillonnage, caractéristiques statiques et dynamiques, etc.). Un travail important de caractérisation est bien souvent nécessaire afin de parvenir à obtenir ces informations.

5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette communication présente un retour d'expérience sur l'utilisation des R-NXT dans les enseignements de l'automatique et de l'informatique industrielle. D'une façon générale, les R-NXT offrent la possibilité de proposer un grand nombre de manipulations, de les adapter en fonction des connaissances et de les faire évoluer facilement. Leur coût relativement faible et leur robustesse permettent de faire travailler les étudiants en autonomie avec une faible probabilité d'occasionner de dégâts dangereux ou coûteux. Il est intéressant de remarquer, d'un point de vue pédagogique, que l'ambiance « challenge » introduite dans les différentes expériences est très bien accueillie par les étudiants. Ces challenges constituent pour eux une source additionnelle de motivation à laquelle ils adhèrent sans réserve.

Les perspectives de développement à l'IUT s'orientent actuellement vers la programmation avec Matlab®/Simulink® (avec le soutien pédagogique des collègues de l'ENSISA) et surtout Labview. Grâce à ce dernier langage de programmation une équipe d'étudiants de GEii participera à la Coupe de Robotique NIDays 2013¹⁰. Quant au Défi NXT, nous souhaitons à l'avenir exploiter l'opportunité d'inviter des lycéens pour y participer.

A l'ENSISA, la concrétisation des concepts de la Programmation Orientée Objet (POO) par l'emploi des R-NXT est actuellement à l'étude. En effet, le niveau d'abstraction inhérent à la POO demeure une difficulté pour les étudiants débutants. Une plateforme comme les R-NXT leur permettrait d'avoir une application concrète de la POO. En parallèle, une réflexion est menée sur l'utilisation des R-NXT dans le cadre des relations internationales de l'ENSISA comme support commun d'enseignements pour les établissements étrangers avec lesquels nous collaborons. L'idée est de faciliter la mise en place de projets collaboratifs avec nos partenaires (Inde, Corée du Sud, etc.), dans les différentes institutions. Ces projets pourraient alors être poursuivis par les étudiants dans le cadre de séjours d'échange.

Bibliographie

- [1] S. Filippov, et al., "Teaching of robotics and control jointly in the University and in the high school based on LEGO Mindstorms NXT", *Actes 18th IFAC World Congress, Milan (Italie), Août 2011*, pp. 9824-9829.
- [2] A. Bobtsov et al., "Using LEGO Mindstorms NXT Technology for Teaching of Basics of Adaptive Control Theory", *Actes 18th IFAC World Congress, Milan (Italie), Août 2011*, pp. 9818-9823.
- [3] S. Kim, H. Oh, A. Kolaman, A. Tsourdos, B. White, H. Guterma, "Educational hands-on testbed Lego robot for learning guidance, navigation and control", *Actes 18th IFAC World Congress, Milan (Italie), Août 2011*, pp. 5170-5175.
- [4] A. Behrens et al., "Matlab Meets LEGO Mindstorms-A Freshman Introduction Course Into Practical Engineering", *IEEE Trans. on Education*, 53(2), 2010, pp. 306-317.
- [5] W. Grega, A. Pilat, "Real-time Control Teaching Using LEGO Mindstorms NXT Robot", *Actes International Multiconference on Computer Science and Information Technology, Wisla (Pologne), 2008*, pp. 625-682.
- [6] J. C. Canonne, L. Vermeiren, E. Cartignes, "Expériences d'initiation à la robotique en IUT GEii", *Actes CETSIS 2011, Québec (Trois rivières), Octobre 2011*.
- [7] R. Pelletier, R. Lefebvre, "Réussir l'intégration du traitement du signal et des systèmes embarqués par l'intermédiaire d'une approche d'apprentissage par problèmes et par projets", *Actes CETSIS 2011, Québec (Trois rivières), Octobre 2011*.
- [8] V. Braitenberg, "Véhicules - Expériences en psychologie synthétique", *Presses Polytechniques et Universitaires Romande, 1991, édition originale 1986*.
- [9] L. Zaffalon, M. Lefebvre, P. Breguet, "Programmation de systèmes réactifs et temps réel ludiques", *Actes CETSIS'2003, Toulouse, Novembre 2003*.
- [10] J-C. Ponsart, D. Theilliol, "Développement d'un TP d'informatique temps réel à partir de robots LEGO", *Actes CETSIS'2005, Nancy, Octobre 2005*.

¹⁰ National Instruments Days : <http://www.nidays.fr>