

Qu'attendre des LEGO® MindStorms® dans nos domaines d'enseignement ?

Eric Hueber*, Jean-Luc Buessler# et Jean-Philippe Urban#

* IUT GEii

61 rue Albert Camus

Faculté des Sciences et Techniques

4 rue des Frères Lumière

-

Université de Haute Alsace

68093 Mulhouse Cedex

Tel : 03 89 33 69 32

Fax : 03 89 42 32 82

E-mail : eric.hueber@uha.fr

RESUME : Un peu partout à travers le monde les LEGO® Mindstorms sont utilisés en tant qu'outil pédagogique pour enseigner les sciences. Les applications vont du primaire jusqu'à l'université. Cet article tente de défricher un terrain de jeu éducatif au potentiel encore sous-exploité en France. Des pistes pédagogiques sont proposées ainsi qu'un retour d'expérience en université.

Mots Clés : enseignement ludique, robots LEGO® Mindstorms, robotique, automatique

1. INTRODUCTION

Pour commencer, nous ne céderons pas à la prétention d'avoir trouvé LA maquette pédagogique qui vaincra le manque de motivation des étudiants face aux sciences. Soyons égoïstes et pensons d'abord au plaisir de l'enseignant. En effet, voici un outil avec lequel vous passerez d'agréables moments tout en travaillant efficacement. Il paraîtrait même que le plaisir de l'enseignant se transmet parfois aux étudiants...



Fig.1 : Exemple de réalisation avec la référence 9797 (recommandée pour l'enseignement notamment pour ses boîtes de rangement)

L'enseignement dans les domaines technologiques exige une remise en cause fréquente de sa forme et de son contenu. Cependant, les travaux pratiques et les projets, régulièrement actualisés, exigent des

infrastructures lourdes et coûteuses. Par ailleurs, on sait que les activités présentielles ne sont plus les seules adaptées à un enseignement moderne de qualité. C'est pourquoi la mise en place de salles de créativité ou de projets doit être plus systématique.

Ces propos extraits des derniers rapports du GESI sonnent juste, mais peuvent paraître complexes à mettre en place. Cependant, grâce aux LEGO Mindstorms, de manière simple et peu onéreuse, l'enseignant dispose de ce terreau éducatif fertile. L'aspect ludique de ces produits inspire la facilité (du moins en ce qui concerne l'approche), et souvent le caractère ingénieux des élèves se manifeste bien plus tôt qu'avec d'autres projets.

Cette nouvelle approche permet de sortir de situations trop souvent rencontrées en projet où l'on se heurte à des petits problèmes de base. Ici, on s'appuie sur des modules déjà opérationnels qui permettent d'aller plus loin. Si le système créé ne marche pas, c'est que l'idée est à revoir, et non le matériel. Effectivement, les Mindstorms sont robustes et fiables : les élèves manipulent des outils rapidement maîtrisés et souvent déjà connus, qui n'a jamais joué avec des LEGO ?

Malheureusement, pour les élèves qui n'auront pas l'occasion d'effectuer des projets, et donc d'exprimer leur inventivité, il existe la possibilité de réaliser des travaux pratiques. Certes ils ne pourront pas se consacrer à la conception de systèmes, qui requiert trop d'investissement pour obtenir des résultats dans le temps imparti. Mais l'étude et l'optimisation d'un robot mobile déjà existant sont tout aussi passionnantes et riches en apprentissages.

Dans cet article, nous tentons de démontrer que cet outil pédagogique n'est pas limité à la robotique et permet aussi d'enseigner la mécanique, la programmation, les capteurs et les systèmes automatisés.

2. PRESENTATION DU MATERIEL LEGO® MINDSTORMS

Réaliser un robot avec des briques LEGO peut sembler incongru. Cependant, si l'on se penche sur la série Mindstorms on découvre une panoplie d'outils très intéressante d'un point de vue pédagogique. D'ailleurs ce produit est le fruit d'une collaboration entre LEGO et le MIT (Massachusetts Institute of Technology) qui utilise le principe de ces boîtes de construction. Les malles pédagogiques aujourd'hui disponibles dans le commerce ont fait l'objet d'une longue collaboration entre plusieurs instituts techniques et ces fameuses petites briques.

Ces boîtes de construction possèdent tout ce qui est nécessaire pour réaliser des robots intéressants : servomoteurs interactifs chacun équipé d'un capteur de rotation pour un contrôle précis des mouvements, engrenages, axes, roues ainsi que des capteurs de lumière, pression, infrarouges, ultrasons (distance et mouvements).

Le NXT (Fig.2) est doté d'un processeur ARM Atmel 32 bits (AT91SAM7S256 d'une capacité mémoire de 256 Kb Flash et 64 Kb Ram fonctionnant à 48 MHz) et d'un co-processeur AVR ATmega48 8 bits (d'une capacité mémoire de 4 Kb Flash et 512 Byte Ram fonctionnant à 8 MHz). Il est possible de le programmer via l'USB ou sans fil, grâce au Bluetooth intégré. En effet, la nouvelle mouture, qui vient de sortir fin 2006 en France (remplaçant le RCX par le NXT), propose une communication Bluetooth aussi bien pour programmer le robot, le piloter avec un téléphone mobile, communiquer avec lui dans son environnement, voire même pour interagir entre différents robots ou modules NXT.



Fig.2 : La brique NXT possède 4 ports d'entrée, 3 ports de sortie, un écran LCD 100x64 et un haut-parleur

La robotique est une science complexe puisqu'elle nécessite des connaissances aussi bien en mécanique, qu'en électronique et en programmation de microcontrôleurs. Avec les LEGO Mindstorms il suffit d'avoir 8 ans ou plus pour s'y adonner puisque la mécanique se résume à un assemblage de briques et d'engrenages fournis, l'électronique est déjà conçue et opérationnelle. Quant à la programmation, issue de LabVIEW le logiciel Mindstorms Education (LME NXT) offre une interface graphique facile à utiliser.

Avec ce produit, l'entreprise danoise s'attaque à un très large public puisque les boîtes sont déjà conseillées à partir de 8 ans. Et il suffit de surfer sur Internet pour avoir la preuve que les Mindstorms sont effectivement utilisés de l'école primaire à l'université.

Enfin, l'investissement financier consenti pour s'équiper de Mindstorms peut sembler raisonnable comparé à la longévité, la modularité de l'outil et l'étendue des possibilités ludiques et pédagogiques.

3. POTENTIEL EDUCATIF

Tout d'abord l'étude des capteurs LEGO offre la possibilité d'aborder de façon ludique et appliquée la physique, l'électronique et le traitement du signal leur étant associés.

	Physique	Electronique	Traitement du signal
Contact	...	Phénomènes transitoires	Anti-rebonds
Capteur Ultrasonore	Propagation des ondes	Train d'impulsions	Modulation et mesure de déphasage
Photodiode	Optique	Emission et réception de lumière	...
Microphone	Domaine fréquentiel	Types de microphones	Echantillonnage
Capteur Angulaire	Position et vitesse	Codeurs incrémentaux	Restauration d'une position et vitesse relative

Tab. 1 : Exemples d'exploitations éducatives possibles des capteurs LEGO

La physique, et en particulier la mécanique, sont à l'honneur avec les moteurs. Les enseignants pourront aborder le mouvement, la vitesse, les forces, le travail, et l'énergie d'un point de vue nouveau. L'enseignement de la programmation peut grandement bénéficier des attraits de ce nouvel outil. En partant d'une réflexion portant sur le comportement d'un robot dans son environnement, les élèves peuvent découvrir la programmation. Certes les automates programmés de la sorte utilisent le

langage graphique NXT (et non un langage de type Grafset par exemple), mais ainsi ils pourront acquérir de manière pratique et originale les bases de cette matière.

La programmation graphique étant plus naturelle, les élèves peuvent maintenant se focaliser davantage sur l'application des principes étudiés lors des cours théoriques. Effectivement, lorsque les élèves devaient développer ces types d'applications en C, plusieurs d'entre eux n'arrivaient pas à dépasser la phase de compilation, à cause d'erreurs de syntaxe.

La limitation de la taille mémoire du NXT pourrait être prétexte à étudier l'optimisation algorithmique. En outre, l'aspect informatique a déjà fait l'objet de précédentes publications au CETSIS^{1,2}.

Pour les enseignements en informatique industrielle, les documentations système et les schémas internes sont librement diffusés sur Internet³ (Fig.3).

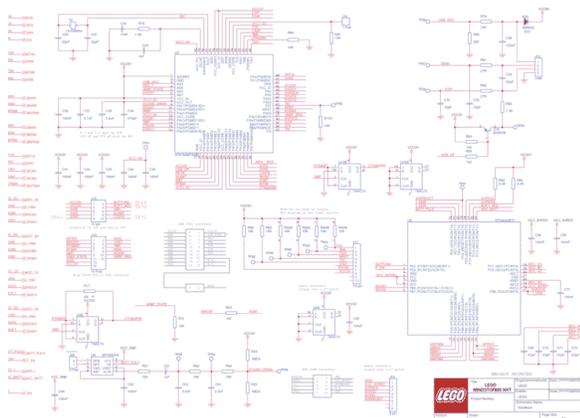


Fig.3 : Extrait des datasheets du NXT

Les LEGO Mindstorms peuvent aussi s'appliquer à la découverte de la domotique, à l'assistance de personnes à mobilité réduite, etc. Mais pour en revenir à nos domaines de prédilection nous vous proposons d'approfondir deux matières où l'on peut exploiter ces LEGOs.

4. ROBOTIQUE

Dans l'enseignement de la robotique en L2, une série de 4 TP sont l'occasion, pour les étudiants, de se familiariser avec les robots. Voici leur contenu :

TP1 : Véhicules de Braitenberg

Ce premier TP a pour but de les familiariser avec le kit robotique et l'environnement de programmation. Dans son ouvrage « Véhicules », Braitenberg laisse entendre que les machines (robotiques ou biologiques) peuvent forger des comportements de complexités croissantes, résultant des connexions neuronales entre organes de perception et actuateurs. Il développe ses idées en montrant comment ces

comportements peuvent être implémentés en utilisant des capteurs de lumière et des moteurs.

Mission : Construire une créature robotique qui soit attirée par la lumière

TP2 : Engrenages et codeur optique

Ce second TP a pour but de les familiariser avec le système d'engrenages des LEGO Technics et le codeur angulaire.

Mission : Construire un système qui positionne une tige en rotation dans le plan horizontal, telle l'aiguille d'une horloge.

TP3 : Une base mobile de précision

L'objectif est de concevoir et programmer un robot mobile qui sache se déplacer avec précision en translation et en rotation. Il est nécessaire d'étudier la synchronisation des moteurs.

Mission : Construire le robot, Mesurer l'erreur de déplacement cumulée (sans capteurs), Minimiser l'erreur de déplacement

Cette base mobile sera utilisée dans le dernier TP.

TP4 : Planification de mouvements

Le but de ce TP est de mettre en œuvre un algorithme qui permette à leur robot de se déplacer entre deux points donnés tout en évitant les obstacles qui parsèment la zone de déploiement.

Mission : Ecrire un programme qui permette à votre robot de recevoir 2 jeux de coordonnées, un point de départ et un point d'arrivée, et d'utiliser un algorithme pour se déplacer du point de départ vers le point d'arrivée tout en évitant les obstacles.

Au début de chaque nouvelle séance, un rapport, portant sur la démarche, les difficultés rencontrées, les solutions proposées et les apprentissages, est remis et les inventions des étudiants sont mises en compétition. Ces sujets de TP sont largement inspirés par les nombreuses pistes éducatives associées aux pages Internet dédiées aux LEGO Mindstorms.

Cette expérience confirme d'année en année son efficacité pédagogique et les étudiants apprécient beaucoup le côté ludique et l'ambiance stimulante de la compétition.

Cette année les LEGO ont été insérés à titre d'expérimentation pédagogique en M1 où les étudiants ont pour mission de concevoir un robot qui classe des objets dans une zone de déplacement définie, en travaillant entièrement sous l'environnement LabVIEW.

5. REGULATION - ASSERVISSEMENT

Avec un matériel qui à première vue inspire la facilité de prise en main, il est possible d'étudier des cas de figure évolués mettant en jeu des notions de régulation, d'asservissement, de correction et de stabilité. Un exemple que l'on peut citer est l'élaboration d'un robot de type Segway, ou pendule inversé.

Pour l'instant, aucun module dans cette matière ne fait appel aux LEGO. Mais à la rentrée 2007 seront testées de nouvelles plates-formes de TP en deuxième année de DUT GEii. L'une des applications possibles peut aussi consister à optimiser le comportement de robots déjà construits. La mission pourrait être de parcourir un trajet en un temps record. En ajoutant des capteurs et des correcteurs de type PID pour piloter les moteurs, les étudiants pourront quantifier leurs améliorations et même comparer leur temps de course avec d'autres élèves.

Dans le cadre d'un projet de niveau L2 ou plus, il pourrait être intéressant d'étudier la reconfiguration système dynamique. Ce genre de programmes plus compliqués requièrent l'aide d'un ordinateur. Ce "cerveau distant" devra pouvoir télécommander le NXT en tenant compte des données des capteurs récupérées à la volée.

Ce type de contrôle à distance est réalisable avec des logiciels du type MatLab ou LabVIEW.

6. ET APRES ?

Evidemment, pour exploiter tout le potentiel des Mindstorms, il est possible voire recommandé d'ajouter des éléments de mécanique, d'électronique et de programmation. Par exemple on peut trouver des détecteurs supplémentaires: détecteur infrarouge d'obstacle, spectromètre, accéléromètre, gyroscope et d'autres sont en cours de réalisation. Pour les férus de programmation le logiciel LME NXT deviendra un facteur limitant. Mais il est possible d'utiliser des environnements tels que MatLab ou LabVIEW, ou même d'explorer de nombreux logiciels créés en partie pour le NXT. Parmi une liste d'une trentaine de logiciels communément usités⁴, on peut citer brickOS (C/C++), leJOS (Java), RoboLab (GUI) et Logitech SDK (Visual Basic).

Pour les curieux, plusieurs livres sont dédiés à ces robots LEGO⁵. Il existe aussi une large communauté de passionnés qui sévit de manière très active sur Internet. On trouve beaucoup d'informations, d'aides, d'idées, de bidouilles en tout genre. De nombreux challenges sont proposés et relevés dans une atmosphère amusante et intelligente.

7. CONCLUSION

Avec un matériel éducatif abordable, il a été montré la multiplicité des possibilités d'apprentissages offerte

par ce nouvel outil éducatif. Voilà une discipline transversale qui lie les domaines électrique, mécanique et informatique tout en ouvrant l'esprit vers de nouvelles matières scientifiques : psychologie cognitive, perception et neuroscience. En effet, grâce aux nouvelles possibilités offertes par le moyen de communication Bluetooth, il est maintenant possible d'envisager l'élaboration d'algorithmes de coopération entre robots.

En outre, les LEGO Mindstorms Education encouragent la créativité des élèves et favorisent le travail en équipe ainsi que la recherche de solutions à un problème.

En revanche, il faut être conscient qu'un tel outil a ses travers. En n'utilisant que le langage graphique les étudiants n'apprendront pas la rigueur du programmeur. Les possibilités d'enseignement sont trop vastes si l'on désire tout apprendre aux élèves sur ce "jouet". Et à vouloir tout essayer rapidement, il est possible de passer à côté de l'acquisition de méthodologie, fondamentale dans nos domaines.

La robotique est une nouvelle science qui commence petit à petit à entrer dans l'enseignement de nos matières, et le phénomène devrait s'amplifier au vu de ses qualités intrinsèques qui en font une école de la vie et un moteur pour l'apprentissage.

BIBLIOGRAPHIE

1. L. Zaffalon, M. Vinckenbosch et P. Breguet, *"Programmation de systèmes réactifs et temps réel ludiques"*, CETSIS'2003
2. J-C. Ponsart et D. Theilliol, *"Développement d'un TP d'informatique temps réel à partir de robots LEGO"*, CETSIS'2005
3. <http://mindstorms.lego.com/Overview/NXTreme.aspx>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms
5. <http://mindstorms.lego.com/Books/>
6. Frédéric Giamarchi et Laurent Flores, *"Construisons nos robots mobiles"*, Ed. ETSF