

# Qu'attendre des LEGO « MindStorms » dans nos domaines d'enseignement ?

Eric Hueber • IUT GEii, Université de Haute Alsace  
Jean-Philippe Urban • Faculté des Sciences  
et Techniques, Université de Haute Alsace

## Résumé

Dans cet article d'Eric Hueber et Jean-Philippe Urban, ces deux enseignants-chercheurs de l'Université de Haute Alsace à Mulhouse nous font profiter de leur expérience dans le domaine des applications pédagogiques et ludiques : les serious games (jeux sérieux) ou edugame (jeu éducatif) : 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

**U**n 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.

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...

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 présentielle 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 (1) sonnent juste, mais peuvent paraître complexes à mettre



Figure 1 : Exemple de réalisation avec la référence 8547

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'explorer des fonctionnalités plus avancées. Ici, 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.

## Présentation du Matériel 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 ces boîtes de construction comme base mécanique et y adjoint l'électronique. Les malles pédagogiques aujourd'hui



**Figure 2** : La brique NXT possède 4 ports d'entrée, 3 ports de sortie, un écran LCD 100 x 64 et un haut-parleur

d'aujourd'hui disponibles dans le commerce ont fait l'objet d'une longue collaboration entre plusieurs instituts techniques et les 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 (figure 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 coprocesseur 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 mouture NXT, sortie 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 ou pour interagir entre différents robots dotés de modules NXT. D'ailleurs la version NXT 2.0 sortie en 2009 améliore la connectivité et permet de connecter une brique NXT à 3 autres simultanément.

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, elle offre une interface graphique facile à utiliser issue de LabVIEW (2) : le Logiciel Mindstorms Education (LME NXT).

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

## Potentiel éducatif

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 (tableau 1).

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 l'informatique 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

	Physique	Électronique	Traitement du signal
Contact	Forces	Phénomènes transitoires	Anti-rebonds
Capteur Ultrasonore	Propagation des ondes	Train d'impulsions	Modulation et mesure de déphasage
Photodiode	Optique	Émission et réception de lumière	Rapport signal sur bruit
Microphone	Domaine fréquentiel	Types de microphones	Échantillonnage
Capteur Angulaire	Position et vitesse	Codeurs incrémentaux	Restauration d'une position et vitesse relative

**Tableau 1** : Exemples d'exploitations éducatives possibles des capteurs LEGO

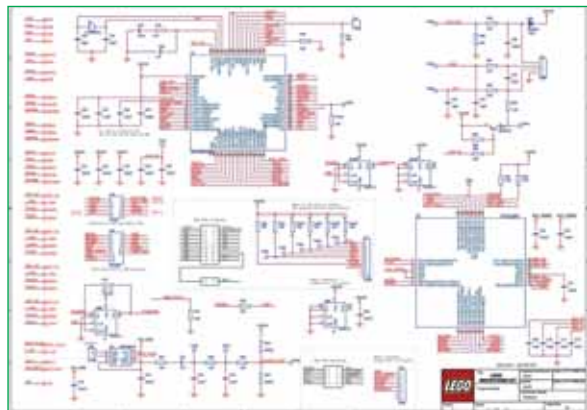
sorte utilisent le langage graphique NXT (et non un langage de type Grafset par exemple), mais ainsi ils pourront acquérir de manière pratique et originale les bases de cette matière.

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 doivent développer ces types d'applications en C, plusieurs d'entre eux n'arrivent 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 (3, 4).

Pour les enseignements en informatique industrielle, les documentations système et les schémas internes sont diffusés par LEGO sur Internet (5) (figure 3). Certains collègues suisses et allemands les ont mis à profit afin de développer de nouveaux capteurs NXT (via bus I<sup>2</sup>C).

Les LEGO Mindstorms peuvent aussi s'appliquer à la découverte de la domotique, à l'assistance de personnes



**Figure 3** : Extrait des datasheets du NXT

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 LEGO.

## Robotique

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

### • TP1 : Véhicules de Braitenberg

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

Ce premier TP a pour but de les familiariser avec le kit robotique et l'environnement de programmation. Dans son ouvrage « Véhicules », V. 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 actionneurs. Il développe ses idées en montrant comment ces comportements peuvent être implémentés en utilisant des capteurs de lumière et des moteurs.

### • TP2 : Engrenages et codeur optique

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

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

### • TP3 : Une base mobile de précision

**Mission** : Construire le robot, mesurer l'erreur de déplacement cumulée (sans capteurs), minimiser l'erreur de déplacement

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.

Cette base mobile est utilisée dans le dernier TP.

### • TP4 : Planification de mouvements

**Mission** : Écrire un programme qui permet au 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.

Ce TP a pour but de mettre en œuvre un algorithme qui permette au robot de se déplacer entre deux points donnés tout en évitant les obstacles qui parsèment la zone de déploiement.

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. Certaines réalisations font appel à des systèmes de vision externes afin d'améliorer les résultats par bouclage d'information (6).

## Régulation – 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. Plus adaptée à un enseignement technique, l'optimisation d'un comportement de robot déjà existant est une piste intéressante. En ajoutant des capteurs et des correcteurs de type PID pour piloter les moteurs, les étudiants peuvent quantifier leurs améliorations et même comparer les performances de leur système 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 requiert 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 comme LabVIEW.

## Et après ?

Évidemment, 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, capteur RFID, gyroscope, caméra et d'autres sont en cours de réalisation (7, 8). Pour les férus de programmation le logiciel LME NXT deviendra un facteur limitant. Mais il est possible d'utiliser des environnements tels que LabVIEW ou SDK, ou même d'explorer de nombreux logiciels créés en partie pour le NXT. Alors qu'une trentaine de logiciels sont communément utilisés (9) avec le RCX, on ne citera que

NBC pour le NXT, d'autres logiciels étant en cours de développement.

Pour les curieux, plusieurs livres sont dédiés à ces robots LEGO. Il existe aussi une large communauté de passionnés qui sévit de manière très active sur Internet (10). On trouve beaucoup d'informations, d'aides, d'idées et d'astuces pour aller toujours plus loin. Autre stimulation : de nombreux challenges sont proposés et relevés dans une atmosphère amusante et intelligente. Notons le célèbre FIRST (For Inspiration et Recognition of Science and Technology) soutenu par la NASA.

## Conclusion

Avec un matériel éducatif abordable, il a été montré la multiplicité des possibilités d'apprentissages offertes 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, il est 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 face 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 – Liens

1. <http://www.gesi.asso.fr/>
2. <http://www.ni.com/academic/mindstorms/>
3. L. Zaffalon, M. Vinckenbosch et P. Breguet, *Programmation de systèmes réactifs et temps réel ludiques*, CETSIS'2003
4. J.-C. Ponsart et D. Theilliol, *Développement d'un TP d'informatique temps réel à partir de robots LEGO*, CETSIS'2005
5. <http://mindstorms.lego.com/Overview/NXTreme.aspx>
6. <http://www.trop.uha.fr/>
7. <http://www.hitechnic.com/>
8. <http://www.mindsensors.com/>
9. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms](http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms)
10. <http://thenxtstep.blogspot.com/>

Coordonnées des auteurs :

Eric Hueber • IUT GEii • E-mail : [eric.hueber@uha.fr](mailto:eric.hueber@uha.fr)