

## Report of innovation

### Fédérer des activités pédagogiques pour constituer un projet intégré en mécatronique : compte rendu d'innovation

### To federate pedagogical activities to set up an integrated project in mechatronics : report of innovation

**Damien GRENIER, Paul FISETTE, Benoît RAUCENT**

CEREM (Centre de Recherche en Mécatronique)  
Université catholique de Louvain  
Bâtiment Stévin - Place du Levant, 2  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

#### **Résumé**

*La conception intégrée de systèmes combinant mécanique, génie électrique, informatique et automatique constitue une nouvelle discipline, la mécatronique, que la faculté des Sciences Appliquées de l'Université catholique de Louvain (UCL) a décidé depuis trois ans d'enseigner dans le cadre d'un nouveau diplôme en électromécanique, orientation mécatronique. Un des éléments originaux de cette formation est un projet intégré en mécatronique dont l'objectif est l'intégration au sein d'un même objet des*

*différentes matières vues en cours. Cet article est un compte rendu d'une première expérience qui a conduit à la réalisation, par les étudiants de cette spécialité, de robots mobiles capables de se déplacer dans un labyrinthe pour y récupérer des balles et les placer dans des cibles déterminées.*

**Mots clés :** *apprentissage par projet, fédération d'activités didactiques, conception intégrée, mécatronique.*

### **Abstract**

*The integrated conception of systems combining mechanics, electrical engineering, computer and control science constitutes a new domain, the mechatronics, that the Faculty of Engineering of the Université catholique de Louvain (UCL) has decided three years ago to teach via a new diploma in electromechanics, with an orientation in mechatronics. One of the original part of this formation is an integrated project in mechatronics, whose aim is the integration, in an unique device, of the various topics of that discipline previously taught in lectures. This paper describes this experience which has led to the realization of mobile robots able to move in a labyrinth, to pick up balls and put them in defined targets.*

**Key words :** *project based learning, federation of didactic activities, integrated design, mechatronics.*

### **Resumen**

*La concepción integrada de los sistemas combinando mecánica, ingeniería eléctrica, informática y robótica constituye una nueva disciplina, la mecatrónica, que la facultad de ciencias aplicadas de la Universidad Católica de Louvain (UCL) decidió implementar después de tres años de enseñar en el marco de un nuevo diploma en electromecánica. Uno de los elementos originales de esta formación es un proyecto integrado en mecatrónica cuyo objetivo es la integración en el seno de un mismo objeto de las diferentes materias vistas en el curso. Este artículo es un informe de una primera experiencia que condujo a la realización, por los estudiantes de esta especialidad, de robots móviles capaces de desplazarse dentro de un laberinto para recuperar pelotas y colocarlas en puntos determinados.*

**Palabras claves :** *aprendizaje por proyecto, federación de actividades, didácticas, concepción integrada, mecatrónica.*

## 1. INTRODUCTION

L'intégration au génie mécanique du génie électrique (électronique, électrotechnique), de l'informatique et de l'automatique constitue une étape de plus en plus cruciale dans les fonctions de conception, de fabrication et d'exploitation de produits et de processus. Il en résulte la nécessité pour l'ingénieur d'adopter une approche interdisciplinaire et intégrée qui exploite au mieux les synergies existant entre les disciplines mises en jeu. Cette approche, qui peut être désignée par le terme de mécatronique, constitue une nouvelle discipline qui a montré toute son efficacité en permettant d'allier étroitement les progrès réalisés dans les différents domaines concernés pour concevoir de nouveaux produits et processus, apportant non seulement des progrès quantitatifs en termes de performances mais aussi l'émergence de fonctionnalités nouvelles.

Depuis trois ans, la faculté des Sciences Appliquées de l'Université Catholique de Louvain (UCL, Belgique) a décidé d'enseigner cette discipline à ses étudiants dans le cadre d'un nouveau diplôme d'ingénieur civil électromécanicien, orientation « mécatronique ». Cette formation s'appuie sur un certain nombre de cours de mécanique, de génie électrique, d'informatique et d'automatique qui permettent aux étudiants d'acquérir des connaissances dans les différents domaines concernés. Cependant, pour prétendre à être une véritable formation en mécatronique, elle doit également comporter un « lieu » où les étudiants peuvent aborder les problèmes liés à une conception intégrée (c'est-à-dire une optimisation globale d'un système électromécanique) par opposition à une conception séparée de chacune des parties qui constituent le système.

Cette problématique de l'intégration peut difficilement s'aborder lors de cours magistraux. Il ne s'agit pas en effet d'une matière qui peut être théorisée mais plutôt d'une expérience, d'un savoir-faire qui peut soit se transmettre par des cycles de séminaires, soit s'acquérir en concevant et en réalisant soi-même des systèmes et des dispositifs mécatroniques, dans le cadre d'un projet. C'est cette deuxième approche qui a été privilégiée dès l'origine par les concepteurs du programme d'étude en électromécanique, dans la mesure où elle permet une attitude active de l'étudiant dans son apprentissage.

Initialement, il était prévu que le lieu où se ferait cette conception intégrée de systèmes mécatroniques serait le « *Projet de construction mécanique* » (inscrit au programme de la 2<sup>e</sup> année technique). Ce projet fait partie depuis longtemps des enseignements par « situation problème » destinés aux ingénieurs civils mécaniciens (Aguirre & Raucent, 1998), avec comme objectif leur formation, par la pratique, à la conception de dispositifs et d'appareils mécaniques. Une simple adaptation de cet enseignement a

donc été menée, à titre expérimental, durant l'année universitaire 1996-1997, de façon à lui donner, pour les étudiants électromécaniciens, une orientation mécatronique, en intégrant davantage un certain nombre d'aspects liés à la motorisation des processus et à l'utilisation de capteurs pour en contrôler l'évolution.

Il convient cependant de noter que la double formation des étudiants électromécaniciens en électricité et en mécanique ne leur laisse pas la possibilité d'avoir une formation en conception mécanique suffisamment avancée à ce stade de leurs études (par comparaison avec les étudiants mécaniciens). De ce fait, même en considérant des dispositifs mécaniques excessivement simples, il leur est impossible dans le volume horaire défini (80 heures d'exercices), de mener, en plus du travail de conception mécanique, une étude suffisamment poussée des parties motorisation, commande et capteurs pour leur permettre une optimisation globale du dispositif. L'intégration des connaissances des étudiants dans les domaines de l'électricité et de la mécanique ne saurait donc être faite dans ce cadre, à moins d'accepter :

- soit de faire « parrainer » les étudiants électromécaniciens par des étudiants mécaniciens, électriciens (voire informaticiens et automaticiens) pour mener à bien les études des différentes parties du système, ce qui revient à renoncer à faire de ces étudiants des ingénieurs généralistes dans les domaines de l'électricité et de la mécanique pour en faire des ingénieurs spécialistes de l'intégration ;

- soit d'augmenter le volume horaire consacré à ces projets.

La première solution a été rejetée par les étudiants électromécaniciens eux-mêmes, lorsqu'ils ont été invités à tirer le bilan du projet en mécatronique de l'année universitaire 1996/1997. La seconde solution, plus satisfaisante sur le plan intellectuel, est en revanche extrêmement délicate à mettre en œuvre, compte tenu du fait que, pour couvrir l'essentiel des domaines de la mécanique et de l'électricité, le programme de cours des étudiants mécatroniciens est déjà très chargé.

Il était certes envisageable de constituer ce volume horaire en prélevant des heures d'exercices attachées à des cours théoriques abordant par exemple les problèmes de motorisation, de commande, de capteurs, d'implantation d'algorithmes en temps réel, mais ceci aurait rompu le lien cours théorique / exercices d'application avec tous les risques que cela comporte. Plutôt que de constituer un tel « méga-projet », il a été choisi, à titre expérimental pour l'année 1997/1998, de fédérer un ensemble de projets et de travaux de laboratoires, jusque-là indépendants les uns des autres, autour d'un même dispositif électromécanique à concevoir et à réaliser par les étudiants en adoptant une véritable démarche de mécatroniciens. C'est ce que nous avons appelé « le projet intégré en mécatronique ».

Le thème choisi a été la conception d'un robot autonome capable de se mouvoir dans un labyrinthe, d'aller y ramasser des balles et de les déposer dans des endroits précis (cf. section 2). Cette initiative a concerné, pour cette première expérience, les heures d'exercices des quatre enseignements (figure 1) intitulés :

- « *Projet de construction mécanique* » (aspects de conception et de construction mécanique des robots) ;
- « *Commande électronique des moteurs électriques* » (aspects de motorisation et de pilotage des moteurs électriques employés pour actionner les différents dispositifs mécaniques) ;
- « *Instrumentation et capteurs* » (aspects capteurs et traitement électronique des signaux issus de ces capteurs utilisés par le robot tant pour se localiser lui-même dans le labyrinthe que pour repérer les balles) ;
- « *Électronique III* » (réalisation d'une communication sans fil entre le robot et l'ordinateur assurant son pilotage).

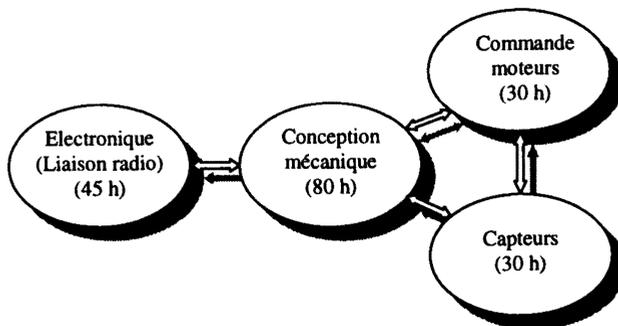


Figure 1 : Partenaires du projet intégré et nombre d'heures d'exercices correspondant à chaque cours

Pour ce projet intégré, il était difficile d'en rester à une phase de conception « sur plans » sans passer à la phase de réalisation, contrairement à ce qui se fait pour les étudiants mécaniciens. Cette phase de réalisation est en effet le seul moyen pour les étudiants d'évaluer par eux-mêmes la pertinence des choix réalisés et leur cohérence dans le cadre d'une conception intégrée. La mise à disposition aux étudiants d'un mécano (de marque Fischertechnik®) a permis à ceux-ci, par groupe de quatre, de mener à bien leur projet de conception, jusqu'à la phase de réalisation et même de compétition, étape ultime et source de grande motivation.

Ainsi, tout en gardant la philosophie de conception sous-jacente au projet des mécaniciens, en y intégrant les aspects électriques et

électroniques dispensés au travers des cours d'électricité, les étudiants ont mené à bien (et avec succès !) le projet intégré, avec le plaisir de réaliser eux-mêmes un robot mobile (et d'en montrer publiquement les performances) en y appliquant et en y intégrant un grand nombre de notions acquises dans le cadre des cours théoriques.

Cet article est un compte rendu de cette première expérience. Il est organisé comme suit. L'objectif, donné aux étudiants sous la forme du règlement d'une compétition, est décrit dans la section 2 tandis que la démarche qui leur a été imposée est détaillée dans la section 3. On trouvera enfin en section 4 une description sommaire des réalisations effectuées par les étudiants.

## 2. OBJECTIF DU PROJET INTÉGRÉ

Le but final du projet intégré a été défini par l'ensemble de l'équipe enseignante avec pour principaux objectifs de faire réaliser un système

- nécessitant la mise en œuvre des concepts essentiels faisant partie du contenu des cours impliqués ;
- gardant un niveau de complexité compatible avec la charge horaire prévue pour ces projets et réalisable avec des moyens (financiers et humains) raisonnables ;
- ayant un attrait ludique de façon à motiver les étudiants impliqués.

Il aurait été, certes, très formateur, pour des étudiants ingénieurs, de réaliser un système pouvant avoir une finalité industrielle, mais compte tenu des moyens humains et financiers mobilisables pour cette première expérience, il est vite apparu que seul un contexte ludique pouvait satisfaire au critère de motivation des étudiants. Il leur a donc été demandé de concevoir un engin destiné à se mouvoir dans un labyrinthe (cf. figure 2) et qui soit capable, à partir d'une station de départ A :

- de prendre 3 balles de golf placées dans une zone de stockage définie ;
- de les faire parvenir dans 3 cibles : une boîte C1, un trou de golf C2 et un panier C3.

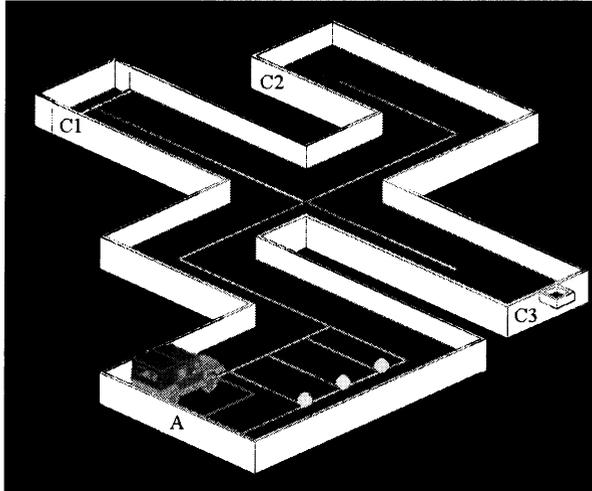


Figure 2 : Vue d'ensemble du labyrinthe

Toutes les caractéristiques du labyrinthe étaient connues des étudiants. Celui-ci, réalisé en début d'année, était accessible aux étudiants qui ont ainsi pu l'utiliser pour faire tous les essais utiles. La dimension hors-tout du labyrinthe était de 2m sur 2m. Les couloirs avaient une largeur de 300mm, les murs une hauteur de 70mm. Le sol était noir avec des lignes blanches au milieu des couloirs sauf à proximité de la cible C3. Une fois l'engin placé manuellement à la station de départ, aucune intervention humaine, ni sur l'engin, ni sur le programme de commande n'était permise.

Une compétition publique était prévue à l'issue de ce projet au cours de laquelle les robots concurrents seraient départagés sur la base du nombre de cibles atteintes (en tenant compte de la difficulté croissante) et du temps mis par le robot pour accomplir cette tâche.

### 3. DÉMARCHE SUIVIE

En plus de fixer un objectif, l'équipe enseignante a voulu imposer une démarche de travail structurée pour la réalisation de ce projet intégré. Le but était d'éviter que les étudiants ne réalisent l'objectif fixé par le biais d'un habile bricolage qui serait trop éloigné de la démarche de conception que doit suivre un ingénieur dans un contexte plus industriel. Nous avons donc divisé le travail en trois étapes suivant le calendrier de la figure 3.

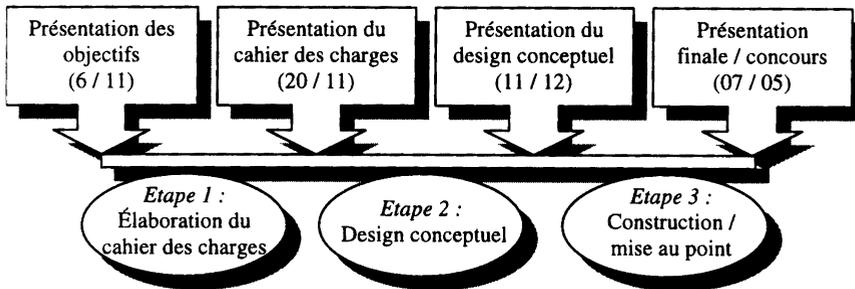


Figure 3 : Calendrier du projet intégré

### 3.1. Établissement d'un cahier des charges

À partir des éléments connus (concrètement : le règlement), les étudiants devaient établir le cahier des charges du dispositif à concevoir en définissant clairement les objectifs, les performances et les contraintes. Nous avons imposé aux étudiants la présentation proposée par Pahl et Beitz (Pahl & Beitz, 1988). À titre d'exemple nous donnons ci-après (tableau 1) les éléments clés d'un des cahiers des charges rédigé par les étudiants :

<b>Objectifs :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement d'un engin dans un labyrinthe.</li> <li>- Chargement de 1 à 3 balles de golf.</li> <li>- Placement des balles dans différentes cibles.</li> </ul>
<b>Performances :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exécution des tâches par programmation.</li> <li>- Évolution dans le labyrinthe à partir de la position de départ sans intervention humaine (sauf éventuellement retour au départ après dépôt d'une balle).</li> <li>- Temps d'exécution maximum : 10 mn pour les 3 balles.</li> <li>- Élévation d'une des balles à 70 mm au-dessus du sol.</li> </ul>
<b>Contraintes :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensions et caractéristiques du labyrinthe (voir plan).</li> <li>- Moteurs Fischertechnics imposés (maximum 6).</li> <li>- Alimentation par batteries (8x1,2V).</li> <li>- Masse d'une balle = 44g.</li> <li>- Diamètre de la balle = 42,5 mm.</li> <li>- Couleur des balles : blanche.</li> <li>- Transmission sans fil du PC au robot.</li> <li>- Installations électroniques de commande et de transmission vers le PC embarquées.</li> <li>- Température de service : 10 à 30°C.</li> <li>- Fonctionnement à l'intérieur (pas de pluie, pas de vent, etc.)</li> </ul>

Tableau 1 : Éléments clés d'un des cahiers des charges rédigés par les étudiants

### 3.2. Design conceptuel

Une fois le cahier des charges clairement défini, les étudiants devaient imaginer / concevoir un engin capable de remplir les fonctions demandées. Ils ne devaient pas, à ce stade, se préoccuper du mécano imposé pour la réalisation du prototype final (ce mécano ne leur était d'ailleurs pas encore distribué).

Il a paru important à l'équipe d'enseignants de laisser à ce stade la plus grande liberté possible aux étudiants dans le choix de leur solution. Ils ont été encouragés à utiliser des techniques de « brain-storming » pour dégager un maximum de solutions possibles pour chacune des fonctions à réaliser (tableau 2) et à faire ensuite un choix justifié parmi l'ensemble de ces solutions, en tenant compte des combinaisons possibles. L'équipe encadrant les étudiants (professeurs et assistants) n'a pas souhaité, à ce stade, imposer « la » solution qui lui paraissait la plus raisonnable mais, au contraire, privilégier la diversité des concepts.

	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4	Solution 5
Mouvement					
Direction					
Transmission					
Suivi trajectoire					

Tableau 2 : Exemple de tableau morphologique proposé par les étudiants pour la fonction « déplacement »

Des séances de consultation en conception mécanique ont été organisées avec les enseignants concernés tout au long de la période de design conceptuel tandis que des séances de laboratoire étaient proposées en électricité pour caractériser les moteurs électriques employés et faire appréhender plus justement aux étudiants les difficultés de la commande des moteurs électriques et de la mise en œuvre des capteurs d'environnement. L'ensemble de ces séances avait pour but d'aider les étudiants à définir un concept réaliste et pas trop coûteux en temps de réalisation et de mise au point. L'objectif d'une grande diversité des concepts mis en œuvre a été largement atteint dans la mesure où les trois groupes d'étudiants ont proposé des solutions fort différentes pour chacune des fonctions du robot (tableau 3).

Fonction	Groupe 1 : la « Tour Infernale »	Groupe 2 : « Baby Rollmobs »	Groupe 3 : la « Moissonneuse »
Déplacement	Chenilles différentielles.	Une roue motrice + une roue à galets pour l'orientation + deux billes porteuses de soutien.	Deux roues différentielles + quatre billes porteuses de soutien.
Prise de balle	Portique latéral + grue.	Grue	Tapis roulant + plan incliné.
Placement des balles	Par ouverture de clapets. Tir latéral pour cible 1.	Tir par ouverture de clapets ou ouverture de la grue.	Par mouvement du tapis roulant.

Tableau 3 : **Principales caractéristiques des robots conçus par les étudiants (étape de l'avant-projet)**

Le concept imaginé par les étudiants devait également être matérialisé sous la forme de plans d'ensemble (dessin manuel ou à l'aide du logiciel Autocad®) et/ou via une maquette (figures 4 et 5). Les principaux choix (système de déplacement, mécanismes de prise et de placement des balles mais aussi nombre de moteurs, type de transmission, emplacement des batteries, type et nombre de capteurs, etc.) et les cotes fonctionnelles de l'engin devaient ainsi être fixés à l'issue de cette phase.

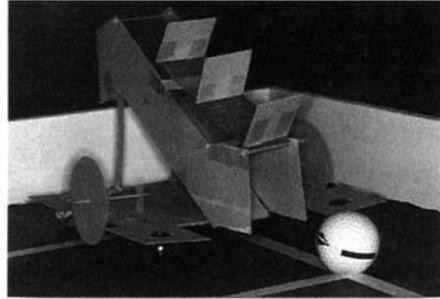
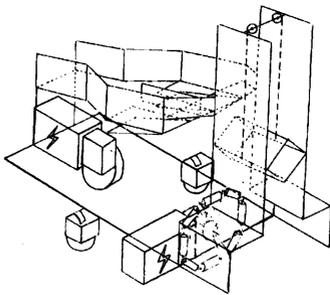


Figure 4 : **Avant-projet du groupe 2**      Figure 5 : **Avant-projet du groupe 3**  
(photo T. Vast)

### 3.3. Phase de construction

Ce n'est qu'une fois le concept parfaitement défini que la phase de construction des robots a pu commencer. Elle comprenait :

- la construction de la structure mécanique des robots en utilisant de préférence (mais non exclusivement) des pièces du mécano mis à leur disposition ;
- le dessin de tous les plans du système réalisé au moyen du logiciel Autocad® (figure 6) ;
- la conception et la mise au point des circuits électroniques de commande des moteurs et de traitement des informations fournies par les capteurs. Pour cette tâche, les étudiants disposaient de circuits imprimés développés par l'équipe enseignante en fonction de leurs besoins prévisibles (tels qu'ils pouvaient apparaître au stade de l'avant-projet). Pour des raisons de coût, un seul modèle de circuit a été réalisé, à charge pour les étudiants de le configurer et de l'adapter à leurs besoins particuliers ;
- l'écriture et la mise au point de l'algorithme de pilotage de l'engin à travers le labyrinthe (on rappelle que, d'après le règlement, celui-ci devait évoluer de façon autonome), en utilisant le logiciel Labview® ;
- enfin, la conception et la réalisation d'une communication sans fil entre l'ordinateur de commande (type PC) et le robot.

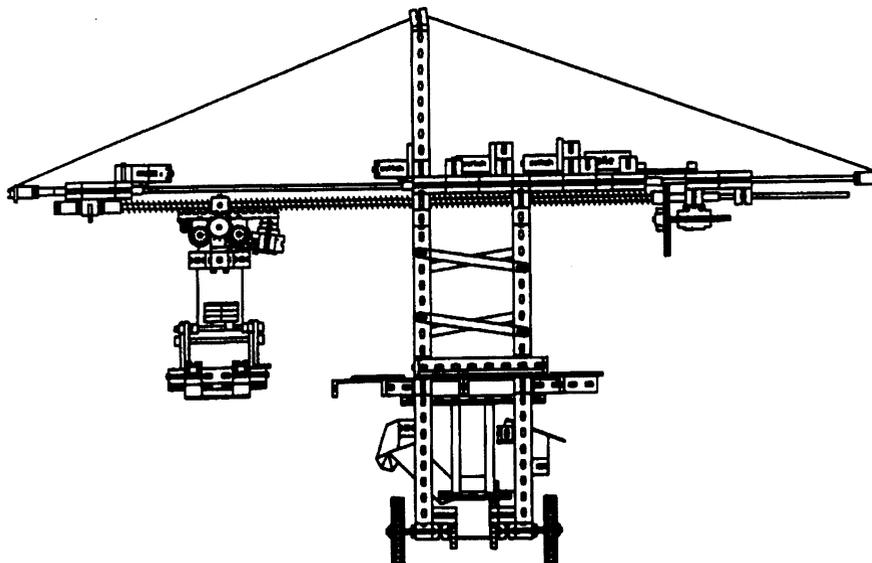


Figure 6 : Plan d'ensemble du robot réalisé par le groupe 1 (la « Tour Infernale »)

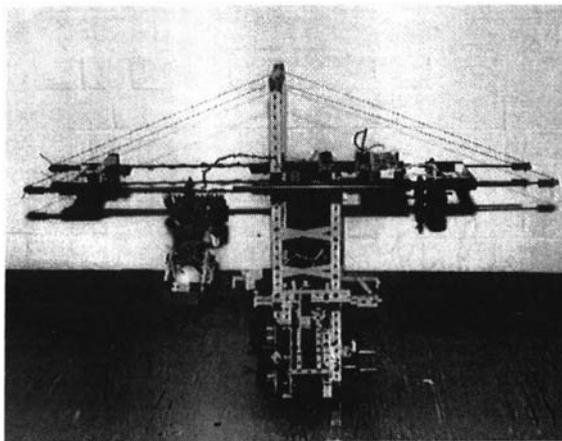


Figure 7 : La « Tour Infernale » (photo T. Vast)

## 4. LES RÉALISATIONS

Trois robots ont finalement été réalisés par les douze étudiants (répartis en trois groupes de quatre) concernés par le projet. Chacune des versions finales de ces robots était très proche de l'avant-projet du premier quadrimestre, même si des modifications ont dû être apportées (principalement pour pouvoir adapter le concept aux éléments du mécano disponibles).

Le premier groupe a réalisé une grue se déplaçant sur des chenilles qui a été baptisée la « Tour Infernale » (figure 7). Celle-ci ramasse les balles dans le labyrinthe au moyen d'une pince qui s'ouvre et se referme automatiquement sur la balle par une simple action mécanique (aucun moteur n'est présent au niveau de la pince elle-même). Les balles sont stockées dans la structure et libérées par un système d'électroaimants.

Le second groupe a mis en œuvre un concept original pour le déplacement du robot : une roue classique motorisée assure le déplacement tandis qu'une roue à galets, également motorisée, permet les changements de direction. Enfin deux billes porteuses stabilisent le véhicule (figure 8). Ce concept lui a valu le surnom de « Baby Rollmobs » par analogie avec le robot mobile « Rollmobs » développé à l'UCL (Ferrière, 1998). Les balles sont collectées dans le labyrinthe par un élévateur à palettes et non plus par une grue comme prévu dans l'avant-projet (voir tableau 3).

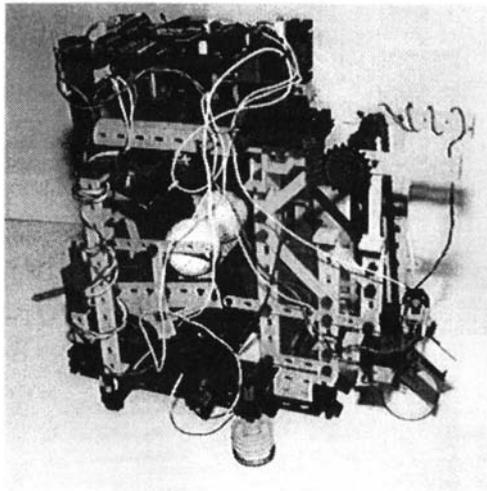


Figure 8 : « **Baby Rollmobs** » (photo T. Vast)

Enfin le troisième groupe a réalisé le robot le plus compact et sans doute le plus fidèle à l'avant-projet (figure 9). Il s'agit d'un robot mû par deux roues différentielles et supporté par deux billes porteuses (au lieu de quatre dans l'avant-projet). La préhension des balles, leur stockage et leur lâcher sont réalisés au moyen d'un tapis roulant muni de palettes en plan incliné qui lui a valu le nom de « Moissonneuse ».

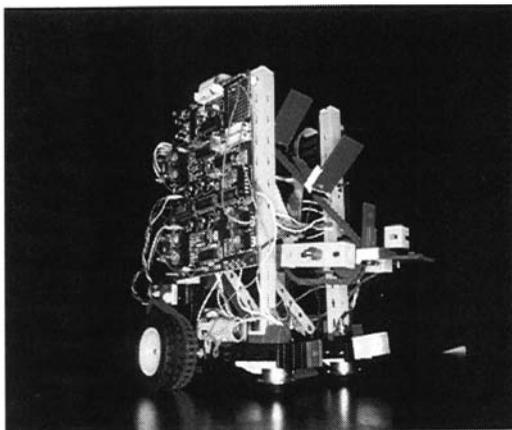


Figure 9 : La « Moissonneuse » (photo T. Vast)

Les essais préliminaires de la dernière semaine ont montré que tous ces robots étaient capables de réaliser la tâche qui leur était demandée et répondaient donc pleinement au cahier des charges. Le « stress » de la compétition finale et la chance ont départagé les candidats : la « Tour Infernale » a remporté l'épreuve avec un parcours sans faute et le meilleur temps.

## 5. CONCLUSION

L'expérience du projet intégré s'est révélée très positive. Elle a permis en effet aux étudiants d'appréhender de façon concrète les problèmes liés à la conception d'un dispositif combinant des aspects mécaniques, électriques, informatiques et automatiques.

Le volume horaire nécessaire à la réalisation d'un tel projet a pu être mobilisé en fédérant un certain nombre d'activités de type exercices / travaux pratiques liés à des cours théoriques où sont abordés les différents aspects (conception mécanique, motorisation, capteurs, électronique) ce qui a permis de ne pas rompre le lien existant entre ces activités et les

cours et donc de maintenir une interaction continue entre ces deux types d'activité pédagogique.

Lors d'une réunion de bilan de ce projet, les étudiants ont exprimé leur pleine satisfaction vis-à-vis du projet qu'ils considèrent dorénavant comme au cœur de leur formation en mécatronique et ont vivement encouragé les promoteurs à renouveler l'expérience pour les années à venir. Ils ont particulièrement apprécié la liberté qui leur a été donnée de concevoir un robot mobile dans son intégralité et selon leurs propres idées, de le fabriquer et de le faire fonctionner en public.

Il faut être conscient que l'organisation d'un tel projet demande un investissement considérable en temps de la part des étudiants eux-mêmes et de l'équipe enseignante qui doit se montrer extrêmement soudée et flexible. Il est en effet très difficile d'assurer à la fois une bonne cohésion du projet dans son ensemble tout en gardant l'œil sur les objectifs particuliers des différents cours impliqués.

Les leçons tirées de cette première expérience permettront dans les années à venir de réduire le temps consacré à ces projets tout en conservant, nous l'espérons, les principales qualités qui en font tout l'intérêt et qui lui ont valu le Prix de Pédagogie 1998 de la faculté des Sciences Appliquées de l'Université catholique de Louvain.

## BIBLIOGRAPHIE

AGUIRRE E. & RAUCENT B. (1998). L'apprentissage de la conception en génie mécanique : le rôle du projet. *Didaskalia*, n° 13, pp. 129-144.

PAHL G. & BEITZ W. (1988). *Engineering Design, a systematic approach*. London, Springer-Verlag.

FERRIÈRE L. (1998). *Conception d'une plateforme omnidirectionnelle*. Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées, Université catholique de Louvain.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à associer à cette publication, l'ensemble des titulaires des cours ayant participé au projet : Hervé Buyse, Christian Eugène, David Johnson, Jean-Didier Legat et Charles Trullemans.

Ils remercient les assistants et chercheurs qui ont assuré l'encadrement de ce projet : Jean-Pierre David, Laurent Ferrière, Tony Postiau et Thierry Vast, ainsi que le personnel technique qui en a rendu la mise en œuvre possible : René Bertrand, Michel De Ruyver, Francis Heylen, Christian Lebègue, André Lengelé, Paul Sente et Paul Thibaut

Enfin, ils souhaitent tout particulièrement remercier l'ensemble des étudiants qui se sont investis dans la réussite de cette expérience : Nathalie Aerens, Carole Depelchin, Guillaume André, Dominique De Meyere, Olivier Depuits, Olivier Englebert, Michaël Lannoo, Serge Ledoux, Laurent Sass, Luc Vercruyssen, Etienne Vermaut et Vincent Verschueren.

Cet article a été reçu le 21/10/98 et accepté le 15/12/98.