

Intégration d'une compétition de robotique au sein du cursus de formation en mécatronique.

Christophe Vloebergh, Damien Grenier, Paul Fissette, Christian Eugène, Jean-Didier Legat
Université catholique de Louvain, Place du Levant 3, B-1348 Louvain-La-Neuve, Belgique
vloebergh@lei.ucl.ac.be

RESUME Depuis 8 ans, la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université catholique de Louvain en Belgique a construit une formation en mécatronique autour d'un apprentissage par projet consistant en la conception et réalisation de robots mobiles autonomes capables, à terme, de participer à des compétitions de robotique. Cet article présente une rétrospective de la mise en place et de l'évolution de ce projet au travers des différents défis lancés aux étudiants durant ces années ainsi que les problèmes et les solutions apportées pour rencontrer les objectifs pédagogiques liés à la formation d'ingénieurs en mécatronique.

Mots clés : apprentissage par projet, compétition de robotique, mécatronique, formation, objectifs pédagogiques.

1 INTRODUCTION

L'Université catholique de Louvain (UCL), Louvain-la-Neuve, Belgique, a (re)créé en 1995 une formation d'ingénieur en électromécanique avec deux orientations : énergie et mécatronique.

L'orientation énergie vise comme champ d'application tout ce qui a trait à la production et à la distribution d'énergie électrique et fait une large part, côté mécanique, à la thermodynamique et côté électrotechnique à l'étude des réseaux de distribution.

La formation en mécatronique approfondit, côté mécanique, les aspects conception et fabrication et, côté électricité, les modèles dynamiques des convertisseurs électromécaniques, les capteurs et l'instrumentation associée, l'automatique, l'électronique de puissance, l'électronique analogique et numérique (y compris les microprocesseurs) et les aspects informatique temps réel.

Pour donner une structure à une telle formation et ne pas la réduire à une simple collection de cours d'électricité et de mécanique, il est très vite apparu la nécessité d'organiser un projet où les étudiants peuvent intégrer les différents concepts électriques et mécaniques acquis séparément. C'est ainsi qu'a été lancé dès 1997, le projet intégré en mécatronique [1], [2], proposé au programme de l'avant dernière année universitaire.

Ce projet a été initialement organisé sous la forme d'une mini-compétition entre étudiants de la même promotion. On leur a ainsi demandé la première année de réaliser un robot capable de se déplacer dans un « labyrinthe » (fig. 1) pour aller y déposer des balles de golf dans trois cibles (un bac, un trou de golf et un panier surélevé).

Les robots étaient réalisés en mécanos Fischertechnik® (fig. 2). Les actionneurs étaient des moteurs à courant continu pilotés par des petits hacheurs à modulation de largeur d'impulsion. Le contrôle de trajectoire (suivi des lignes blanches tracées sur le fond noir du labyrinthe) se faisait au moyen de capteurs optiques et d'une boucle de régulation analogique. Les commandes de haut niveau

étaient enfin générées à partir d'un programme Lab-view® tournant sur un PC.

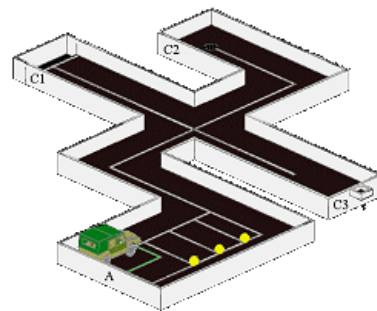


fig 1 : piste de jeu du projet 1997-1998

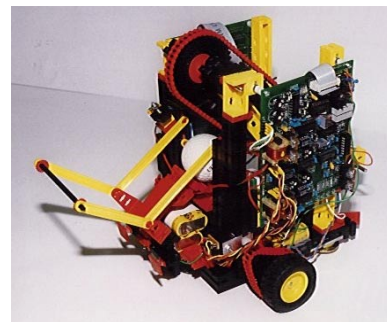


fig 2 : la "moissonneuse" (1997-1998)

D'un point de vue technique, il s'agit là de solutions minimales très en deçà des exigences d'une formation d'ingénieurs en mécatronique. Pédagogiquement, cette expérience s'est toutefois révélée extrêmement formatrice pour les étudiants qui ont ainsi d'abord appris à gérer un projet à long terme (il s'étalait sur toute l'année universitaire) mais également compris, grâce au projet, des notions fondamentales en mécanique du mouvement (notamment à travers la cinématique du robot), en électronique et en automatique (à travers le système de suivi de ligne).

Ceci nous a évidemment incités à renouveler l'expérience, en essayant d'améliorer d'année en année la qualité technique des réalisations et en cherchant à illustrer, au travers du projet, un nombre croissant de concepts vus dans les cours associés. Cela a bien sûr nécessité aussi de mobiliser des moyens complémentaires (humains et matériels) et de consacrer au projet un nombre croissant d'heures-étudiants avec au bout du compte la question essentielle : cet apprentissage par projet, indubitablement attractif pour les étudiants, remplit-il aussi bien que les formules "classiques" (cours, exercices, travaux pratiques) les objectifs pédagogiques d'une formation d'ingénieur ? Ne court-on pas notamment le risque que les étudiants, se prenant au jeu, oublient ces objectifs et les contournent, qu'ils privilégient le fait de gagner la compétition à celui d'apprendre ?

Dans la suite de cette communication, nous témoignons de l'expérience des projets en mécatronique à l'UCL, de l'évolution qu'ils ont connue au cours des 8 dernières années et qui permet aujourd'hui à nos étudiants de participer à la coupe de Belgique de robotique, phase de sélection de la coupe européenne Eurobot [3]. Nous montrons comment nous avons intégré cet apprentissage par projet dans la formation d'ingénieur au point d'en faire l'épine dorsale de la future maîtrise en mécatronique.

2 ORGANISATION DU PROJET EN MECATRONIQUE

Le projet en mécatronique se déroule au cours de la 4^{ème} année de formation d'ingénieur (soit, dans le nouveau système issu du processus de Bologne, au niveau de la première année de maîtrise).

Il a été construit en fédérant progressivement, autour de deux enseignements de type projet (un en électronique, l'autre en mécanique), les activités pratiques (séances d'exercice et laboratoires) de différents cours (fig. 3). L'intérêt de la formule est de préserver et renforcer l'indispensable lien entre la théorie et la pratique. L'enseignant qui met la partie pratique de son cours à disposition du projet garde toute la responsabilité de son organisation (définition des objectifs, mise à disposition des moyens techniques, encadrement) et surtout de son évaluation.

Cinq cours participent ainsi activement au projet intégré en mécatronique et contribuent à la mobilisation d'un total de 21 crédits (ECTS), ce qui représente un peu plus d'un tiers d'une année d'étude (60 ECTS). Si l'on ajoute à ce total, le poids des cours associés au projet (la partie théorique des cours qui participent au projet et les cours d'électronique qui interfèrent avec le projet en électronique), c'est plus des $\frac{3}{4}$ des activités de l'année qui se trouvent "contextualisées" au travers du projet intégré en mécatronique. Les 21 ECTS mobilisés représentent par ailleurs, pour un groupe de 3 à 6 étudiants, une force de travail comprise entre 2100 et 3200 heures ce qui représente entre 400 et 700 heures de travail par étudiant.

Même en tenant compte du fait que ces "travailleurs" sont des étudiants en formation, il est possible, dans ce contexte, de se donner des objectifs ambitieux.

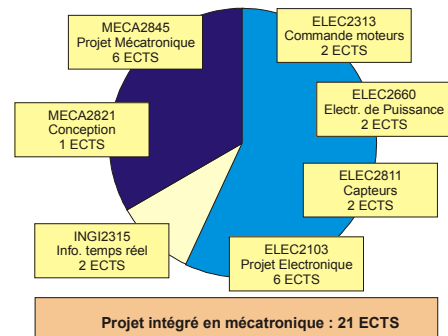


fig 3 : cours impliqués

Encore faut-il que ce capital-temps soit correctement utilisé pour les étudiants. L'équipe enseignante se doit donc de les former à la gestion de projet, de leur proposer un canevas d'organisation du groupe, une planification des tâches à accomplir. Il n'y a pas d'heures de travaux encadrés en tant que tels (quelques essais en laboratoire organisés au cas par cas et quelques séances d'introduction aux logiciels utilisés) mais les enseignants et les techniciens sont à la disposition des étudiants pour les aider à résoudre les difficultés rencontrées tout au long du déroulement du projet. De plus, plusieurs rendez-vous sont organisés avec l'équipe enseignante comme autant d'échéances qui jalonnent le projet. Trois à six semaines après la remise de l'énoncé du problème (le règlement de la compétition), les étudiants présentent devant l'équipe enseignante, un avant-projet du robot qu'ils envisagent de réaliser. C'est l'occasion pour l'encadrement d'intervenir en tant qu'"ingénieur-senior", de transmettre aux étudiants un certain retour d'expérience, de les aviser des éléments de solutions proposés.

- Certains seront irréalisables (parce qu'ils sont techniquement irréalistes ou parce que les défis technologiques qu'ils supposent relever sont incompatibles avec le temps et les moyens dont dispose le groupe), comme par exemple le contrôle de la position d'un élément du robot à partir de la seule information fournie par un codeur incrémental sans qu'aucune référence absolue ne soit disponible, ou encore le problème du placement d'un capteur de suivi de ligne placé en arrière de l'axe de rotation du robot ;
- d'autres exigeront que des études de faisabilité soient menées au préalable (et donc rapidement planifiées) ;
- et enfin il y aura ceux dont l'équipe enseignante sait qu'ils ne poseront pas de problèmes particuliers (car, en général, ce sont des solutions déjà mises en œuvre les années précédentes).

L'avant-projet sert également à figer les choix (du moins dans les grandes lignes) et éviter les hésitations et modifications qui empêcheraient les étudiants de mener à bien leur projet dans le temps imparti. Ils savent que, passé cette étape, ils seront d'avantage jugés sur leur capacité à

réaliser un robot conforme à l'avant-projet que sur les performances du robot réalisé.

D'autres rencontres enseignants-étudiants jalonnent le déroulement du projet. Elles peuvent prendre différentes formes : la remise de rapports intermédiaires (en général avant les périodes de congé), la défense de ces rapports et la présentation d'un échéancier pour la suite du travail (après les congés, pour marquer la reprise du travail), des visites de quelques enseignants dans le local de travail pour s'enquérir de l'état d'avancement dans un domaine donné (avec démonstrations à l'appui), etc... Ces visites sont organisées à l'initiative des titulaires des cours impliqués ou parfois à la demande des étudiants. Elles ne sont pas nécessairement planifiées au début de l'année mais n'interviennent jamais par surprise. Les étudiants sont avertis au moins une semaine à l'avance.

Le projet s'achève par l'organisation d'une compétition entre étudiants, où ceux-ci ont l'occasion de montrer au public (parents, amis) le travail réalisé pendant l'année. Bien entendu, le résultat de la compétition n'intervient pas dans l'établissement de la note attribuée au groupe. Le rapport final est une composante importante de cette dernière.

Moyennant les quelques modalités d'encadrement rappelées ci-dessus, les groupes d'étudiants organisent leur travail en toute autonomie. Ils ont été formés en ce sens dès le début de leurs études universitaires, puisque l'UCL et la Faculté des Sciences Appliquées, en particulier, ont résolument opté pour une démarche d'apprentissage par projets, favorisant le travail en groupe [4]. L'ensemble du projet est effectué dans une salle mise à leur disposition exclusive, salle équipée d'outils, de machines-outils (fraiseuse, foreuses, meuleuse...), d'appareils électriques (oscilloscopes, alimentations...), et à laquelle ils ont accès jour et nuit.

3 LES ENONCES DU PROJET EN MECATRONIQUE, ANNEE PAR ANNEE

Le projet intégré en mécatronique a évolué au fil des années, se fixant des objectifs de plus en plus ambitieux. D'année en année nous avons en effet pu bénéficier :

- d'un nombre accru d'heures-étudiants, issues de nouveaux cours venant se fédérer autour du noyau initial ;
- de l'expérience du passé, tant d'un point de vue encadrement que d'un point de vue technique : certaines solutions (circuits électroniques de signal et de puissance) validées par les étudiants des générations précédentes ont ainsi été mises à la disposition des nouvelles générations sous forme notamment de circuits imprimés ;
- d'équipements supplémentaires : nous avons pu, au fil du temps et grâce notamment à un budget important du Fonds de Développement Pédagogique de l'UCL, acheter de nouveaux moteurs-réducteurs plus performants et plus puissants que ceux du mécano FischerTechnik® initial, de cartes microprocesseurs

pour l'implantation d'algorithmes de commande temps réel plus complexes, de machines-outils permettant aux étudiants d'usiner eux-mêmes certaines pièces de leur robot comme des éléments du châssis en aluminium.

Nous avons pu ainsi passer de robots très rudimentaires les premières années à des robots capables de se mesurer, dans le cadre de compétitions de robotique, à ceux d'équipes ayant plusieurs années d'expérience derrière elles.

3.1 EMPILAGE DE CYLINDRES (1998-1999)

Lors de la deuxième édition du projet en mécatronique, nous avons demandé aux étudiants de réaliser un robot mobile capable de récupérer des cylindres de bois dans un espace de 2m80 x 1m30. L'espace était entouré de murs de 60 cm de haut permettant l'utilisation de sonars pour se repérer dans l'espace.

Les robots réalisés étaient plus ou moins du même niveau que ceux de l'année précédente (construction en Fischertechnik®, commande à partir d'un PC sous Labview®...), la seule difficulté supplémentaire étant a priori l'introduction des sonars.

Les solutions proposées par les étudiants pour la préhension et la manipulation des cylindres étaient très variées (fig. 4) avec des fortunes diverses. Seul un robot s'est avéré en définitive capable d'accomplir la tâche pour laquelle il avait été conçu. Signe sans doute d'objectifs trop ambitieux en regard des moyens dont disposaient les étudiants (mécano en plastique peu rigide, moteurs trop peu puissants, capacités de commande limitées).

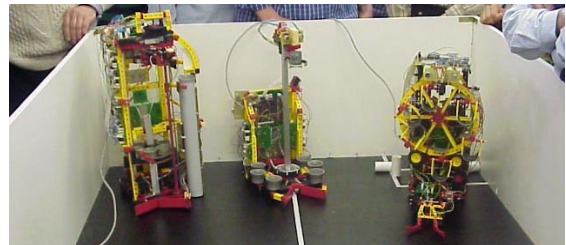


fig 4 : réalisation des étudiants (1998-1999)

3.2 MANIPULATION DE CUBES (1999-2000)

L'année 1999-2000 a été marquée par l'introduction de moteurs Maxon [5] à courant continu plus puissants (4,5W) équipés de codeurs incrémentaux pour une meilleure précision des mouvements et surtout la mise à disposition d'une carte comprenant un micro-contrôleur PIC et un réseau de portes programmables (FPGA). Ce fut également cette année-là que les cours d'électronique de puissance et d'informatique temps réel furent intégrés au projet.

L'aire de travail était la même que l'année précédente mais cette fois-ci les étudiants devaient récupérer des cubes et les tourner pour les poser, face au dessus, devant une image correspondant au dessin d'une de leurs faces (fig. 5).

Une caméra embarquée permettait d'identifier 6 formes : un carré, un rond, un triangle, une croix, un "T" ou un "U", correspondant aux 6 faces du cube.

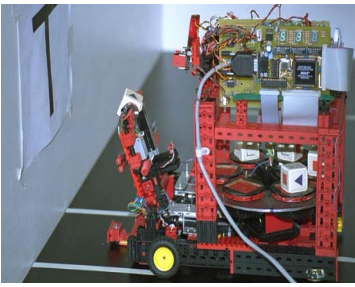


fig 5 : le robot DJ (1999-2000)

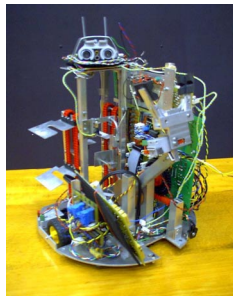


fig 6 : le robot Dunker (2000-2001)

3.3 STOCKAGE EN RACK (2000-2001)

L'acquisition de petites machines-outils a permis en 2000-2001 de franchir une nouvelle étape en permettant la réalisation de robots avec des structures mécaniques plus précises et plus fiables (fig. 6).

Le jeu se déroulait toujours dans le même espace. La "mission" consistait cette fois à récupérer une balle, un cylindre et un cube et à les stoker dans des casiers situés les uns au dessus des autres. On simulait ainsi un robot s'occupant du stockage de colis de formes diverses dans un entrepôt. Un robot construit par l'équipe enseignante et se déplaçant de façon aléatoire dans l'espace de travail simulait un humain que le robot des étudiants ne devait en aucun cas percuter. Il était repérable grâce à une bande catadioptrique rétro réfléchissante un rayon laser envoyé par le robot des étudiants.

Par ailleurs, pour faciliter le guidage, des fils parcourus par des courants alternatifs de fréquences différentes étaient "enterrés" dans le sol.

Le projet était, cette année là, extrêmement ambitieux, avec sans doute trop de défis techniques nouveaux ajoutés. Par ailleurs l'équipe enseignante était confrontée à un défi de taille en terme d'encadrement. Les promotions à l'UCL (comme partout ailleurs en Belgique) ne sont pas à effectifs fixes. Elles varient en fonction de l'attractivité du diplôme. L'introduction d'un projet aussi motivant pour les étudiants a fait passer les effectifs en mécatronique d'une douzaine d'étudiants en 1997-1998 à plus de 30 en 2000-2001, faisant ainsi de la formation en électromécatronique, la formation la plus suivie en Sciences Appliquées à l'UCL. Toutes ces difficultés cumulées ont fait que seuls deux ou trois robots sur les 8 construits se sont montrés capables d'effectuer la tâche prévue, et encore en ôtant le robot perturbateur du terrain de jeu.

3.4 GYMKHANA (2001-2002)

L'équipe enseignante a fait preuve de plus de modestie en définissant le nouveau sujet. Un parcours parsemé d'obstacles (plans inclinés, plots, marches, plan incliné basculant, barre à soulever pour passer dessous) a été

créé au sein de l'espace de travail habituel. Des bandes catadioptriques marquaient les extrémités des couloirs formant un parcours que les robots devaient effectuer en un temps minimum.

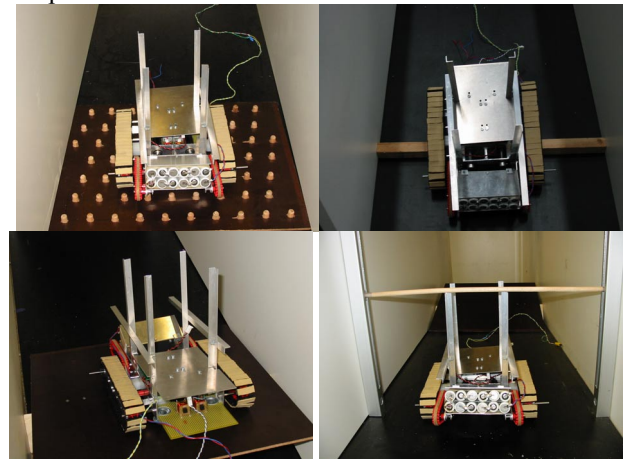


fig 7 : le robot Minotor (2001-2002)

Le projet fut cette année là, d'un certain point de vue, une réussite : les 7 robots participants ont réussi à franchir le parcours d'obstacle. Mais force est de constater que la tâche à réaliser était de nature séquentielle (franchir une série d'obstacles dont l'ordre était connu) et que les objectifs du cours d'informatique temps réel n'étaient donc pas tout à fait rencontrés. Avec de plus une question de fond : demande-t-on aux étudiants de réaliser de vrais robots ou de simples automates programmés ? Que peut-on faire pour se rapprocher davantage encore des objectifs d'une véritable formation en mécatronique ?

3.5 LE BAR ELME (2002-2003)

Nous avons voulu lors de l'année 2002-2003 réintroduire un certain aléa dans l'environnement des robots en organisant des duels. Mais compte tenu de l'expérience de 2000-2001, nous avons voulu éviter que les "adversaires" partagent le même espace physique.

Nous avons donc conçu une aire de jeu de 3m x 2m10, entourée de murets de 7cm de haut et séparée en deux parties égales par une table de 9cm de haut (fig. 8).

Pour les robots, la tâche à réaliser consistait à servir des boissons à des clients installés à la table centrale, à leur demande (càd un appel sonore de fréquence distincte pour chaque client) et ce avant que le robot du café concurrent ne le fasse. Une fois servi, le "client" émettait une autre séquence sonore, à la même fréquence que l'appel initial pour signaler qu'il était inutile de venir lui servir une deuxième boisson. Les "boissons" à servir étaient simulées par des canettes de soda vides.

La communication sonore s'est avérée être une contrainte redoutable et peu fiable dans le brouhaha de la compétition finale.

L'organisation de la compétition sous forme de duels en augmente l'intérêt mais a également posé problème car certains groupes ont privilégié la victoire à la compétition aux objectifs didactiques. Cette année-là, des mo-

teurs à commutation électronique (brushless DC motors) de 20W ont été mis à la disposition des étudiants. Le choix de moteurs à commutation électronique par rapport aux moteurs à courant continu classiques répondait à un objectif purement didactique venant du cours de "commande de moteurs", partenaire du projet. Il en va de même du choix d'une tension nominale de ces moteurs de 24V alors que les étudiants ne disposaient que de batteries 12V afin de les inciter à réaliser un hacheur élévateur de tension (boost) dans le cadre du cours d'électronique de puissance, également partenaire du projet. Ces moteurs étaient cependant largement surdimensionnés et leur alimentation sous tension maximale ne procurait aucun avantage significatif pour la compétition. S'apercevant de cela, certains étudiants ont préféré faire l'impasse sur les difficultés que représente la réalisation d'un boost, passant de ce fait à coté des objectifs didactiques correspondants.

Un rééquilibrage a dû être fait lors de la remise des notes (qui pèsent, on le rappelle, sur un tiers de la moyenne de l'année), avec une réexplication des motivations et des objectifs d'apprentissage liés au projet.



fig 8 : compétition de robotique (2002-2003)

3.6 LE "CLEAR BALL" (2003-2004)

Nous avons repris en 2003-2004 le concept de duels en proposant un jeu inspiré du tennis et que nous avons baptisé "Clear ball". Nous avons réutilisé la même aire de jeu (fig.9) en remplaçant la table par un muret central. Quatre balles étaient initialement disposées dans chaque camp et le jeu consistait à les envoyer dans le terrain adverse. Il était évidemment possible de venir ramasser les balles expédiées par l'adversaire pour les renvoyer de l'autre côté.

Les murs extérieurs du terrain ainsi que le muret central étaient recouvert d'une bande catadioptrique pour faciliter la détection des balles présentes sur le terrain.



fig 9 : le "Clear ball" (2003-2004)

3.7 PARTICIPATION A LA COUPE DE BELGIQUE DE ROBOTIQUE (2004-2005)

Une étape supplémentaire a été franchie au cours de cette dernière année : il a été décidé d'inscrire les étudiants à la coupe de Belgique de robotique, qui sert de phase de sélection à la compétition européenne Eurobot [3].

Ce faisant, nous avons évidemment contribué à accroître encore la motivation des étudiants et à infléchir légèrement la relation étudiants-enseignants : de juges-arbitres, les enseignants sont devenus pour les étudiants des alliés pour la "défense de l'honneur" de l'Université.

D'un autre coté, cette participation à une compétition extérieure entraîne des contraintes : les enseignants ne sont plus maîtres ni du sujet (et n'ont aucune garantie a priori de l'adéquation de celui-ci avec les objectifs pédagogiques des cours impliqués), ni du calendrier. Le règlement de la compétition n'est disponible qu'après la rentrée, ne laissant à l'équipe d'encadrement que peu de temps de préparation. De plus, la compétition se déroule en avril, soit un mois plus tôt que les années précédentes. Le thème de la compétition est le "bowling". Il s'agit là encore d'une interprétation très libre du jeu initial : deux équipes s'affrontent sur un grand damier avec pour objectif de renverser le plus possible de quilles de sa couleur (fig. 10).

Chaque équipe peut mettre sur le terrain deux robots, par exemple un chargé de faire tomber les quilles adverses, l'autre de redresser les quilles renversées par l'adversaire. C'est l'option qui a été retenue en concertation avec les étudiants répartis en 4 groupes : deux chargés de concevoir des "tombeurs" et deux autres des "redresseurs".

On peut qualifier de succès cette première participation à la coupe de Belgique de robotique puisque les réalisations des étudiants électromécaniciens (dont la plupart ne savaient rien ou presque de l'électronique de puissance ou des microprocesseurs en début d'année) ont réussi à être homologuées pour participer à la compétition (ce qui implique d'être capable de réaliser la tâche pour laquelle ils sont conçus). Mieux que cela, un groupe a réussi à se classer 4^{ème} équipe belge, passant ainsi juste à coté d'une qualification pour participer à la coupe d'Europe (où seuls les trois premiers sont retenus).



fig 10 : le "bowling" (2004-2005) [3]

Cette expérience nous a également permis d'évaluer la compatibilité entre les objectifs de telles compétitions et ceux de notre formation en mécatronique. Les étudiants de l'UCL ne sont en effet pas tout à fait dans le même contexte que les autres étudiants qui participent à ce type de compétition. Il ne s'agit pas pour eux seulement d'un hobby, une activité "externe" à leur cursus d'étude, plus ou moins soutenue par leur établissement, mais d'une activité à part entière de leur formation, qui en constitue même l'épine dorsale.

S'ils disposent de plus de temps, d'aide et de moyens que les autres équipes en compétition, ils subissent également des contraintes que les autres n'ont pas. L'utilisation de moteurs à commutation électronique est pénalisante compte tenu du volume que représente l'électronique de commande associée. Il leur est par ailleurs imposé de concevoir et réaliser des électroniques à partir d'éléments discrets, plus encombrantes et moins fiables qu'un circuit intégré spécialisé.

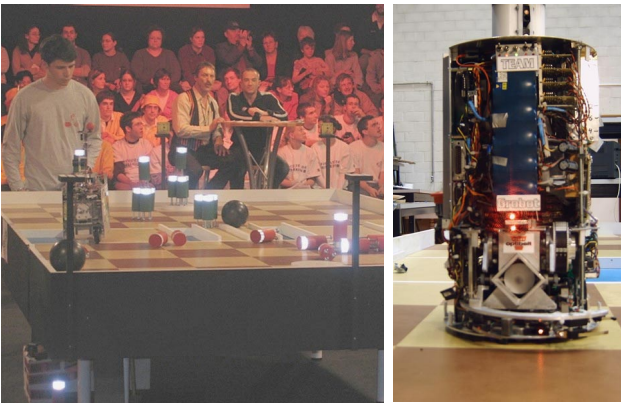


fig 11 : la coupe de Belgique (2004-2005)

Ce problème de fiabilité est à l'origine de certaines déconvenues : les robots les plus performants à l'"entraînement" ne sont pas nécessairement ceux qui ont le plus brillé à la compétition, lorsque les conditions d'éclairage ou de planéité de la piste avaient changé. Cette question de la fiabilité, de son amélioration à travers des redondances ou des stratégies de fonctionnement en mode dégradé est cependant une thématique intéressante à aborder dans le cadre d'une formation

d'ingénieur. Elle représente assurément un défi à relever pour les années à venir.

4 CONCLUSION

Depuis 8 ans, la Faculté de Sciences Appliquées de l'UCL a construit une formation en mécatronique autour d'un apprentissage par projet consistant en la réalisation de robots mobiles autonomes capables de participer à des compétitions organisées d'abord en interne, puis en externe.

La démarche de construction du projet, incluant les problèmes de coordination de l'équipe enseignante, la mise au point d'une aide pédagogique adéquate, a été une démarche très progressive (et qui n'est pas encore achevée). C'est ainsi qu'en 8 ans, nous sommes passés de robots très rudimentaires construits à partir de mécano Fischertechnik® à des réalisations capables de participer honorablement à des compétitions de robotique de haut niveau.

La question de savoir si les objectifs pédagogiques et ceux purement ludiques de la compétition sont compatibles entre eux reste toutefois non résolue. Les poursuivre simultanément nécessite de faire des compromis mais nous sommes persuadés que sans la motivation importante que procure ce type de compétition, jamais les étudiants ne se seraient autant investis dans l'étude des aspects mécaniques, électroniques, électrotechniques et informatiques (et leurs interactions) illustrés au travers du projet.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous leurs collègues, professeurs, assistants, chercheurs, techniciens (en particulier, André Lengelé) qui de près ou de loin se sont impliqués dans le projet. Nous voudrions également saisir cette occasion pour donner un coup de chapeau spécial aux étudiants qui ont passé des jours (et des nuits) en laboratoire et qui sont à n'en pas douter les véritables artisans de la réussite du projet.

Bibliographie

1. D. Grenier, P. Sente, P. Fiset, B. Raucent, "La conception et la réalisation de robots mobiles comme éléments fédérateurs d'une formation en mécatronique", *Actes du Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CETIS-EEA'99)*, Montpellier (France), Novembre 1999, pp. 295-298.
2. D. Grenier, P. Fiset, B. Raucent, "Fédérer des activités pédagogiques pour constituer un projet intégré en mécatronique : compte rendu d'innovation", *Didaskalia 16*, Avril 2000, pp. 163-178.
3. www.eurobot.org
4. E. Aguirre et al., "Devenir ingénieur par apprentissage actif". *Actes du 1^{er} Colloque de Pédagogie par Projet dans l'Enseignement Supérieur, ENST, Brest, Juin 2001*, 7 pages.
5. www.maxonmotor.com