



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 10628

To link to this article: DOI:10.1051/j3ea/2013001

<http://dx.doi.org/10.1051/j3ea/2013001>

To cite this version:

Noureddine, Farid *Une expérience pédagogique autour d'un robot industriel.* (2013) J3eA, vol. 12 . pp. 1. ISSN 1638-5705

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Une Expérience Pédagogique dans l'Enseignement de la Robotique Industrielle

Farid Nouredine

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes - ENIT
47, avenue d'Azereix, BP 1629
65016 Tarbes Cedex
Email :farid.nouredine@enit.fr

RESUME : Une expérience pédagogique dans l'enseignement de la robotique industrielle a été menée à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes. En gardant comme objectif de connaissances à acquérir celles répertoriées dans le syllabus des enseignements de robotique de l'Enit, une organisation se situant à mi-chemin entre une approche d'enseignement classique et d'enseignement par projet a été adoptée et fait l'objet de cet article.

1 Introduction

L'enseignement de la robotique industrielle, c'est à dire principalement l'étude des bras manipulateurs, est pour beaucoup d'écoles d'ingénieurs partie intégrante du cursus. Les objectifs assignés peuvent sensiblement diverger d'une école à l'autre suivant les options considérées et suivant que l'on souhaite former les élèves-ingénieurs à l'intégration de robots ou à leur conception.

A l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, Enit, l'enseignement est organisé sous forme d'U.E. : Unités d'Enseignement regroupant des E. C., à savoir Eléments Constitutifs. Pour ce qui est de la robotique, en Semestre 8, (S8), l'E.C. dispensée dans l'option Génie industriel traite de l'intégration

des robots industriels, tandis qu'au semestre S9, une approche davantage orientée sur la conception des robots, voire machines spéciales, est menée dans un autre E. C., dans l'option Contrôle des processus.

Les détails de ces E.C. et notamment la répartition horaire entre Cours (C), Travaux Dirigés (T. D.) et Travaux Pratiques (TP), ainsi que les crédits Ects associés, le programme et le mode d'évaluation retenu sont indiqués en [8].

En marge de cet enseignement classique, il a été décidé de proposer, en enseignement optionnel en S8, un E.C. centré sur une problématique définie par le laboratoire de Robotique de l'Enit. C'est cette expérience qui sera exposée dans cet article, expérience se situant à mi-chemin entre une approche d'enseignement classique et d'enseignement par projet.

2 Présentation de l'enseignement

Les différents degrés de liberté de moduler le rythme d'un enseignement, notamment la succession des C, TD et TP dépendent beaucoup de l'effectif. Il est sûr que lorsque l'on dispose d'un effectif inscrit à l'U.F. inférieur à 12, il peut y avoir une gestion très souple et, nous le verrons, très réactive de la modulation C, TD et TP. L'expérience menée dans ce travail a donc été pensée en considérant un effectif possible maximum de 12 Elèves-Ingénieurs. Le volume horaire attribué à cet E. C. est de 30 h. répartis en 12h. de Cours; 10 h. de TD et 8h. de TP.

2.1 Objectifs pédagogiques et motivations

Tout enseignant se pose tout naturellement et très régulièrement des questions relatives à ses pratiques d'enseignement. Parmi les innovations de ces dernières années, l'enseignement par projet ou par problèmes est forcément une nouveauté qui interpelle les enseignants et les expérimentations menées sont, pour la plupart, globalement positives. **Ainsi nous trouvons des initiatives pour des étudiants en Master, [1, 5] où l'autonomie de ces derniers est mise en avant, on peut également chercher à développer leur compétences en gestion de projet et communication en plus des compétences scientifiques et techniques, [6]. Dans le domaine de l'électricité, un approfondissement des connaissances est effectué à travers des apprentissages par projet, [2]. Certaines équipes pédagogiques confrontent les étudiants, dès la première**

année, à la pédagogie par projet comme dans [4] ou sur des enseignements de base, par exemple dans le domaine de l'électronique de puissance, [7]. Néanmoins, un certain nombre d'écueils doivent être surmontés pour mener à bien ce type de pédagogie, et notamment la nécessité de réunir (fédérer) un ensemble d'enseignants, une équipe pédagogique qui arrive à mutualiser un certain nombre d'heures sur une certaine durée, avec un apprentissage transversal des connaissances, comme par exemple en [3]. En fait, ce sont des changements qui impliquent une concertation et des actions mûrement réfléchies et planifiées et qui nécessitent souvent l'aval de la Direction des études. L'expérience décrite ici n'a pas cette envergure puisque c'est la réflexion d'un seul enseignant qui gère son U. C. et qui peut réagir, dans des délais assez courts, vu qu'il ne remet pas en cause le canevas affiché par l'école pour l'U.C. considéré.

Les circonstances ont joué en notre faveur en ce sens que les conditions optimales pour réaliser une expérience pédagogique profitable à la fois aux élèves-ingénieurs pour leurs acquisitions et à l'équipe pédagogique pour son expérience, se sont trouvées réunies. Ces conditions sont, d'une part un effectif réduit de 6 étudiants (cet E.C. est optionnel), d'autre part un volume horaire relativement conséquent et enfin la présence d'un robot récemment acquis.

La proposition soumise aux élèves ingénieurs a été de définir comme objectif à atteindre à l'issue de ce cours la résolution d'un Cahier Des Charges, CDC, fourni par un client potentiel, ici en l'occurrence, le Laboratoire de robotique de l'Enit. L'équipe en charge du projet se composait des 6 Elèves-Ingénieurs et l'Enseignant, la problématique étant clairement définie et précisée plus avant. Les Elèves-Ingénieurs et l'Enseignant ont uni leur efforts pour avancer le plus loin possible dans la résolution du CDC. Contrairement à l'approche projet, l'enseignant se trouve disponible, de par ses connaissances, pour pouvoir dispenser du Cours/TD afin de répondre aux interrogations des Elèves-Ingénieurs. Les problèmes ont été posés séquentiellement en début de séance, l'identification des problèmes menée par les Elèves-Ingénieurs eux-mêmes et des propositions de solutions discutées. l'enseignant ayant un rôle d'animateur, (Il est à souligner que les Elèves-Ingénieurs n'ont pas fait de robotique au préalable dans leur cursus), qui propose d'amener ses connaissances par le biais de cours/TD pour répondre aux problèmes soulevés.

En fait, le CDC défini au Laboratoire de robotique l'a été par l'enseignant de l'équipe en anticipant les problématiques à survenir, sachant que des cours de robotique et de vision sont déjà préparés puisque ces enseignements sont

assurés à l'Enit depuis plusieurs années par ce même enseignant.

Cette démarche, on le verra par la suite, va permettre de susciter l'apprentissage de deux importantes parties des connaissances répertoriées dans le syllabus des enseignements de robotique de l'Enit. Ces thèmes traitent de la modélisation géométrique inverse d'un robot.

Les connaissances que devront acquérir les Elèves-Ingénieurs à l'issue de cet E. C. de robotique sont relatives à :

- l'intégration des robots industriels et à
- la modélisation géométrique de ces derniers.

3 Présentation du travail - Organisation des tâches

Du fait de l'acquisition récente par le laboratoire de Robotique d'un nouveau robot (Kuka, 6 axes), montré en figure (1), nous nous sommes fixé comme objectif la mise en exploitation de ce robot et la définition d'une cellule associée. Ce projet a été divisé en 3 sous projets affectés à chacun des 3 binômes d'Elèves-Ingénieurs.

Le laboratoire de Robotique de l'Enit dispose de KukaSimPro et Of-
ficelite, (produits de la société KUKA GmbH), logiciels de CAO pour les robots Kuka et de Delmia, produit de la société Dassault Systèmes, logiciel de CAO pour la conception de cellules robotiques. Cet ensemble a permis de définir et de proposer des tâches diverses aux Elèves-Ingénieurs pour les trois sous projets. Le groupe 1 a ainsi travaillé entièrement sur de la simulation, le groupe 2 a officié sur le robot et le groupe 3 a réalisé la programmation hors ligne avec validation de ses programmes sur le robot.

1. **Groupe Delmia** : Conception de la cellule robotique sous Delmia
Prise en main de Delmia
Création du modèle CAO du robot
2. **Groupe Kuka** : Programmation et mise en sécurité du robot
Prise en main du robot
Etude des interfaces Entrées/Sorties
3. **Groupe KukaSim** : Programmation de la cellule robotique sous KukaSim

Création du modèle CAO de la cellule
Programmation hors ligne du robot
Validation des programmes sur le robot

Tels que présentés, il est important de définir sur les 3 sous projets une tâche de fond qui soit active dès la première séance afin d'éviter tout temps mort qui intervient souvent lors des démarrages de projets. **Le fait que le matériel soit nouveau et nécessite un apprentissage non négligeable permet de voir venir et de se donner un peu de temps pour bien caler les problématiques.** Des séances de 4h ont été programmées, permettant ainsi un début de séance en autonomie, puis une évolution de la séance vers du cours ou du TD suivant les interrogations suscitées par les élèves ingénieurs. Les résultats des 3 groupes sont maintenant présentés dans les sections suivantes.

4 Groupe Delmia-Conception de la cellule robotique sous Delmia

La version du logiciel Delmia est antérieure à l'achat du robot et de ce fait, ce dernier ne figure pas dans la bibliothèque. Cela a conduit, du point de vue pédagogique, à des problèmes intéressants à identifier (par les Elèves-Ingénieurs) et naturellement à résoudre.

Delmia est un logiciel de la société Dassault Systèmes qui permet la conception de cellules robotisées. La visualisation et validation de toutes les séquences sont réalisées hors ligne puis téléchargées sur l'armoire de commande pour exploitation de la cellule. Comme c'est le cas pour tous les logiciels, l'apprentissage s'avère relativement long et une exploitation optimale des fonctions nombreuses et variées n'interviendrait que si les Elèves-Ingénieurs utilisaient quotidiennement ce logiciel dans leur travail, ce qui ne peut bien sûr pas être le cas. Néanmoins, le travail dans le cadre de ce projet a permis aux Elèves-Ingénieurs de bien appréhender les possibilités de ce logiciel et de disposer des clés pour en approfondir l'apprentissage.

4.1 Objectif

L'apprentissage de Delmia est donc défini comme tâche de fond, le but fixé étant le dessin de la cellule définie au laboratoire d'Electronique-Vision. Ainsi, les Elèves-Ingénieurs sont immédiatement opérationnels et également à

l'écoute du groupe Kuka pour des sollicitations, notamment dans la maîtrise du positionnement des éléments de la cellule.

Il est également demandé de réfléchir au point clé suivant :

- Le robot KR6 arc ne figure pas dans la bibliothèque de Delmia, comment procéder alors pour ajouter un élément dans cette bibliothèque ? Cela concerne, dans notre cas, le modèle d'un robot mais cela aurait pu tout aussi bien concerner le modèle d'une machine spéciale conçue par rapport à un CDC et qui ne disposerait pas de modèle CAO.

4.2 Déroutement du projet

Les étapes réalisées par ce groupe ont été, afin de se familiariser avec Delmia, de dessiner les éléments de la cellule réelle telle qu'elle se présente au laboratoire, voir figure (2). A noter que les élèves ingénieurs de l'Enit ont une formation en conception mécanique sous Catia, logiciel de CAO mécanique également développé par Dassault systèmes. L'environnement et les formalismes sont assez identiques, ce qui a naturellement facilité l'apprentissage de Delmia.

Pour créer le modèle CAO du robot, les élèves ingénieurs ont dû :

- S'enquérir de l'existant et récupérer auprès du constructeur Kuka le dessin (géométrie) du robot KR6 arc. Un fichier au format d'échange STEP a ainsi été reçu.
- S'appuyer sur leur connaissance de Catia pour créer les entités exportables vers Delmia. Les différents éléments de chaque bras ont été regroupés sous un élément, les liaisons rotoïdes ont ensuite été définies et l'entité robot définie et exportée sous Delmia. Les animations par axes ont ainsi pu être menées.

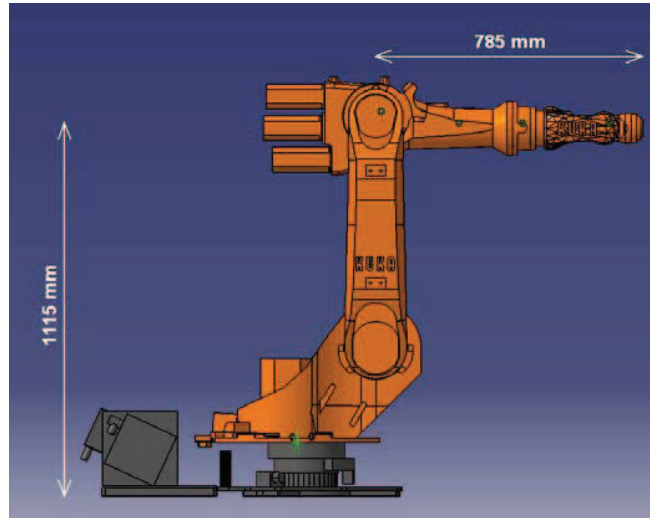


Figure 1: Entité robot créée sous Delmia

A cette étape du projet, il a été demandé aux Elèves-Ingénieurs de réfléchir à la possibilité de déplacer les axes du robot en mode cartésien dans le repère Robot par exemple (repère cartésien attaché au socle du robot). Une interpellation des 3 groupes a permis d'engager une discussion sur les implications algorithmiques que devait posséder le contrôleur pour réaliser ce déplacement. Nous sommes bien sûr arrivés à expliciter ce que l'on appelle en robotique le modèle géométrique inverse et ainsi un C/TD a été abordé afin d'apprendre la résolution d'un modèle géométrique inverse dans le cas de robots à chaîne cinématique simple. Un cours classique avec présentation des matrices homogènes, méthode de Denavit-Hartenberg a été dispensé. Par contre, seul le robot concerné a été traité. (la méthode de Denavit-Hartenberg est une méthode assez répandue pour l'enseignement des modèles des robots industriels). Là où une approche complète avec étude de 2 ou 3 exemples illustratifs des architectures de robots les plus courantes aurait nécessité une dizaine d'heures de C/TD, nous en avons consacré 4 à ce objet précis.

A l'issue de cette étude, le groupe disposait du modèle géométrique inverse. La procédure de couplage de ce modèle dans l'environnement Delmia n'a cependant pu être menée à terme car les échanges d'informations avec nos interlocuteurs "Delmia" ont été assez longs à établir et certaines informations sont hélas arrivées trop tard pour être implantées.

Un dessin de la cellule du laboratoire a enfin été créé afin de réfléchir

aux implantations futures d'un environnement périrobotique, et notamment l'implantation d'un miniconvoyeur. Les outils utilisés, tels la gestion de l'espace de travail 3D, se sont révélés efficaces et ont permis de susciter des échanges avec les autres groupes puisque cette demande d'information émanait du groupe Kuka en charge du travail sur le robot réel.

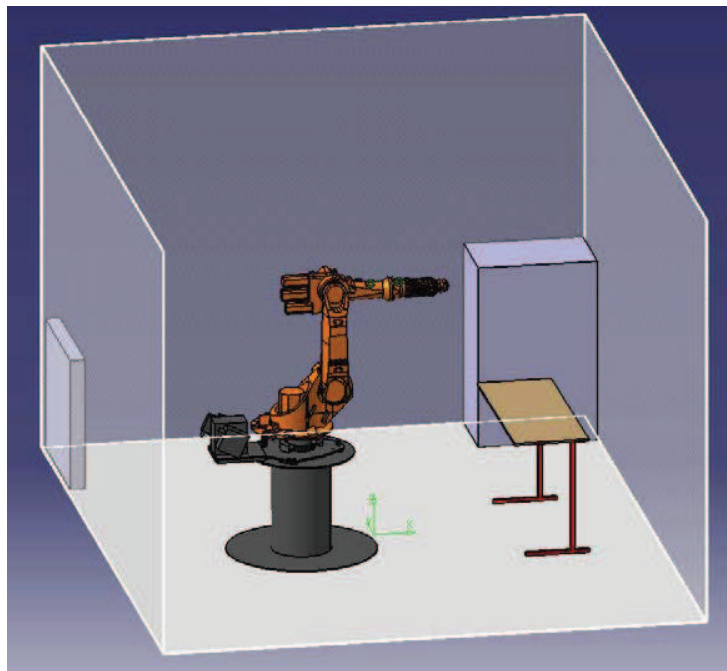


Figure 2: Cellule robotique

5 Groupe Kuka-Programmation et mise en sécurité du robot

Le robot Kuka Kr6Arc que nous avons monté sur un socle, voir figure (3) est un robot anthropomorphe 6 axes initialement dédié au soudage à l'arc, mais qui, de par ses performances globales, soit une répétabilité de l'ordre du 1/10ème de mm, et une charge maximale autorisée égale à 6 kg, peut très bien convenir à bien d'autres tâches à effectuer dans les ateliers de production. L'attrait de travailler sur un robot industriel est certain pour nos Elèves-Ingénieurs, même si la vigilance doit être de rigueur du fait de la dangerosité

de l'appareil.

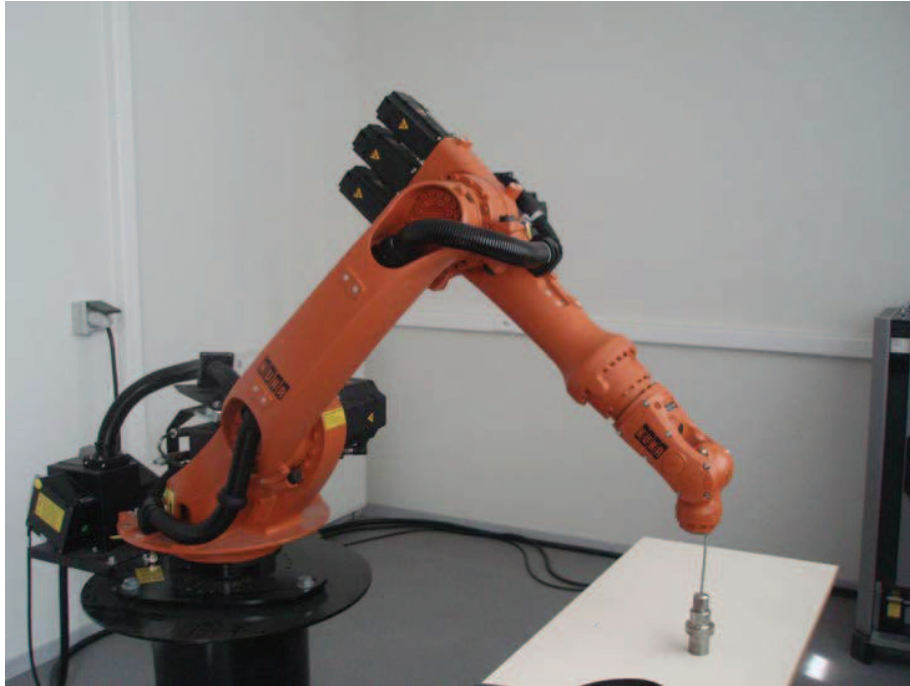


Figure 3: Robot anthropomorphe Kuka, KR6 Arc

5.1 Objectifs

La tâche de fond affectée à ce groupe était tout indiquée puisque que la programmation d'un robot est un sujet assez vaste. Différents scénari ont été définis et des programmes été écrits et validés sur le robot, mettant eu jeu :

- la programmation axe par axe et en cartésien sur l'ensemble de l'espace de travail. L'apprentissage des différents repères
- La commande du robot par la programmation de variables booléennes
- L'interruption du cycle du robot par les entrées analogiques

En points de réflexion, ce groupe devait travailler sur la mise en sécurité du robot par la commande d'un portillon muni d'un interrupteur de sécurité.

5.2 Déroutement du projet

En s'appuyant sur la documentation fournie par le constructeur, la programmation du robot sous ces différents aspects a pu être menée sans difficulté majeure. La sollicitation des Elèves-Ingénieurs est intervenue à partir du moment où la communication hardware avec le robot a dû être activée, ainsi des éléments de cours concernant :

- la gestion des modules d'E/S à ajouter dans l'armoire de commande du robot ainsi que
- la gestion des E/S liées aux différents capteurs et actionneurs généralement disponibles dans une cellule robotisée

ont été rappelés. Il faut souligner que les étudiants de l'Enit ont préalablement suivi, au cours de leur scolarité, des cours d'automatisme et que de ce fait, ce travail a permis de fixer les concepts déjà abordés par une utilisation concrète de leurs connaissances.

Concernant la mise en sécurité, il a été décidé de limiter la zone d'accès au robot, voir figure 6, par une protection passive. La porte (ouverture vers l'extérieur, passage de 80 cm) est équipée d'un interrupteur de sécurité connecté au robot.

Les plans et devis ont été réalisés et la fabrication est en attente de lancement par le CIMMES (Centre d'Ingénierie en Mécanique, Matériaux et Surfaces) de l'Enit.

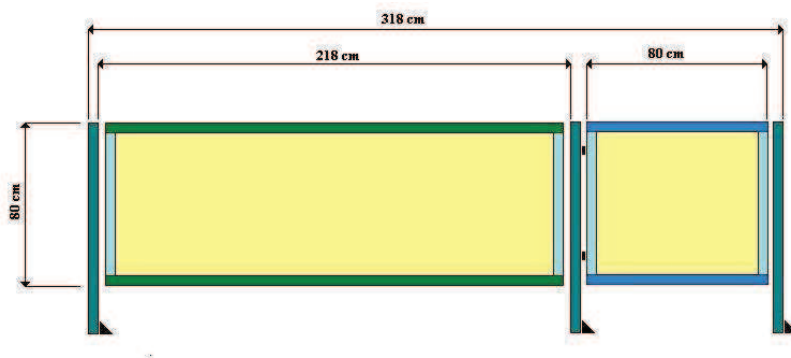


Figure 4: Dispositif de sécurité

6 Groupe SimPro-Programmation hors-ligne du robot Kuka KR6 Arc

La version Ecole du package de simulation KUKA regroupe un ensemble de logiciels permettant la création et visualisation en 3D des cellules avec des robots de la gamme Kuka, l'écriture et l'optimisation des programmes hors ligne, l'analyse des temps de cycles et enfin le téléchargement et l'exécution sur le robot réel des programmes conçus hors ligne.

6.1 Objectifs

L'objectif principal assigné à ce groupe a été la réalisation de programmes hors ligne et la validation de ces programmes sur le robot. En parallèle, les Elèves-Ingénieurs devaient apprendre à créer et simuler de trajectoires.

6.2 Déroulement du projet

La cellule du laboratoire a ainsi été dessinée, comme montré en figure (5) où les 3 murs ont été remplacés par 3 panneaux et nombre de fonctionnalités du logiciel SimLayout ont ainsi pu être explorées. Les Elèves-Ingénieurs étaient pratiquement la plupart du temps autonomes, et ce groupe s'est révélé être, sans nul doute, le groupe qui a soulevé le moins de questions en rapport à l'optique de déclencher, de la part de l'enseignant, des séquences de cours/TD.

En fait, les questions qui se posaient étaient toujours relatives à l'utilisation du logiciel et souvent très pointues et spécifiques et ont plutôt nécessité un contact avec le support technique de Kuka.



Figure 5: cellule modélisée sous KukaSim

L'objectif a été atteint en fin de stage et le téléchargement de programmes hors lignes réalisé via le réseau ou par clé Usb sur l'armoire de commande. Très peu d'exploitations ont été menées pour pouvoir apprécier la qualité de cette programmation hors ligne, mais c'est désormais un outil exploitable et qui pourra amener des réponses pratiques quant aux performances de ce type de programmation en comparaison avec la programmation par apprentissage.

7 Bilan et Perspectives

Cette expérience pédagogique a été rendue possible par le fait assez rare que seuls 6 Elèves-Ingénieurs se sont trouvés inscrits à cette U.F. ce semestre. Ce couplage entre mise en évidence d'un problème et réaction de la part de l'enseignant sur du Cours/Td a excellentement fonctionné sur le groupe Delmia, bien sur le groupe Kuka et de manière moins satisfaisante sur le groupe KukaSim.

Il est bien sûr manifeste que le thème du groupe Delmia a été pensé de telle façon que les Elèves-Ingénieurs arrivent à un moment en butée sur le modèle géométrique inverse afin que ce dernier puisse leur être enseigné.

Cet enseignement se trouve-t-il de ce fait être mieux assimilé ? D'après les réponses aux questionnaires d'évaluation des Elèves-Ingénieurs, présentés en section suivante et sans fausse modestie, on serait enclin à répondre par l'affirmative.

Il est à noter néanmoins que travailler dans ces conditions amène un vrai confort aux Elèves-Ingénieurs et qu'ils sont peut être moins enclin à faire d'efforts pour étendre leur point de vue, la réponse unanime à la question 5 du questionnaire en est un exemple. Les propositions d'amélioration des Elèves-Ingénieurs apparaissent pour la plupart très pertinentes.

Si, du point de vue de l'enseignant, cette expérience a été au moins aussi enrichissante que pour les Elèves-Ingénieurs, elle s'avère être sûrement moins confortable que de l'enseignement classique du fait de sollicitations sur des problèmes auxquels on n'a pas nécessairement immédiatement une réponse à proposer, mais il faut cependant admettre que le problème était bien balisé et que l'ambiance de travail, surtout du fait de l'effectif restreint, était propice à un apprentissage serein. La notion de tâche de fond a joué un rôle essentiel pour éviter à tous l'impression de passivité ou de perte de temps à un moment ou à un autre.

7.1 Questionnaire - Propositions d'amélioration des Elèves-Ingénieurs

Ce questionnaire d'évaluation a été distribué et renseigné de façon anonyme à la fin du mois de mai 2010 au terme de l'enseignement.

Les réponses pouvaient être de la forme suivante : Oui, Plutôt Oui, Non, Plutôt Non, Sans Avis

1. La densité des connaissances acquises vous semble-t-elle suffisante ?
2. L'organisation de points de cours suite à une problématique apparaissant lors du déroulement du projet vous paraît-il plus motivant ?
3. Le passage, au cours d'une même séance de 4h, d'une phase de travail en autonomie à une séance de cours n'est pas souhaitable ?
4. La part du travail en autonomie devrait être moins importante par rapport à la partie Cours ?
5. Le traitement des points théoriques (Etudier, par exemple, d'autres modèles de robots) devrait être plus approfondi (faire plus de TD) ?

6. Le travail en autonomie devrait-il être plus guidé ?
7. Ce type d'enseignement vous paraît-il intéressant, même si l'emploi du temps ne permet pas de consacrer un travail supplémentaire hors séance?
8. Les conditions matérielles ont-elles été satisfaisantes ?
9. L'organisation de l'évaluation : rapport + soutenance, vous semble-t-elle pertinente ?
10. A choisir de nouveau, vous referiez le même choix de cet enseignement ?

SUGGESTIONS DE PROPOSITIONS D'AMELIORATION DE CET ENSEIGNEMENT

7.1.1 Réponses aux questions

Dans le tableau ci-dessous est noté le nombre d'Elève-Ingénieurs ayant répondu à la question concernée.

	Oui	Plutôt Oui	Non	plutôt Non	Sans Avis
1	2	3		1	
2	1	5			
3		2		3	1
4			4	2	
5				6	
6	1	4		1	
7	5	1			
8	6				
9	4	2			
10	5	1			

7.1.2 Propositions d'améliorations

- Le cahier des charges doit être plus précis
- Une plus grande interaction entre les binômes

- Des séances plus rapprochées dans le temps
- Des objectifs par séance
- Des permutations sur les postes de travail

8 Remerciements

Je remercie , Emmanuel, Florian, Sébastien, Simon, Romain et Vincent de la 44^{ème} promotion de l'Enit pour leur investissement dans ce projet. **Leur travail et leur implication dans ce projet auront permis une amélioration des outils dorénavant disponibles au laboratoire.**

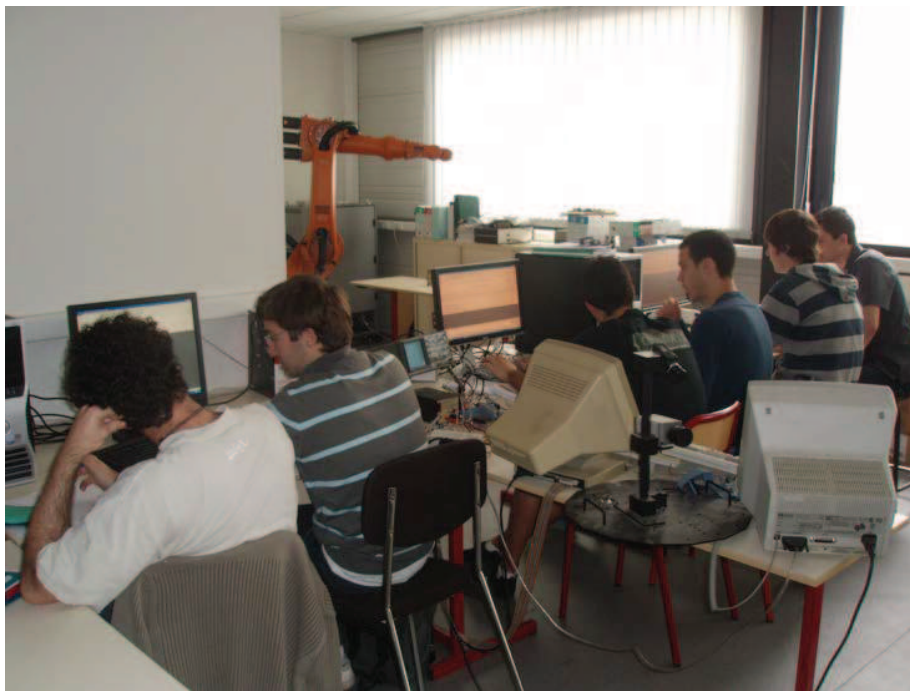


Figure 6:

Je remercie également José Guimarães, Technicien au laboratoire de Robotique pour sa disponibilité permanente et son aide au bon déroulement de ce projet.

References

- [1] A. Nonclercq, K. De Cuyper, E. Leroy, D. Lopez Martinez, F. Robert, Apprentissage par projet : L'utilisation conjointe de chaînes d'acquisition réelle et virtuelle pour enseigner l'instrumentation. Journal sur l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes, J3eA 8 HORS SÉRIE 1 (2009) 1005, DOI: 10.1051/j3ea:2008046.
- [2] L. De Vroey, F. Vrins, F. Labrique, C. Trullemans, C. Eugène, D. Grenier, Apprentissage par projet en électricité : exemple et mise en oeuvre. Je3A 5 (2006), DOI: 10.1051/j3ea:2006020.
- [3] A. Tauvel, N. Simond, S. Todeschini, Utilisation de la simulation dans des projets de robotique. J3eA 8 HORS SÉRIE 1 (2009) 1018 , DOI: 10.1051/j3ea:2008059.
- [4] M. Blondeau, A. De Greef, P. A. Douxchamps, B. Genêt, M. Haelterman, C. Lenders, E. Leroy, P. Nardone, V. Raman, A. Richard, F. Robert, Apprentissage par projet : Réalisation d'une éolienne urbaine en matériaux de récupération. J3eA 8 HORS SÉRIE 1 (2009) 1028, DOI: 10.1051/j3ea/2009002.
- [5] L. Baghli, A. Rezzoug, Lévitiation magnétique, une approche objet-projet. J3eA 9 (2010) 0002, DOI: 10.1051/j3ea/2010002.
- [6] D. Dalle, P. Mabillean, N. Boutin, G. Lachiver, L'apprentissage par problèmes et par projets pour le développement des compétences professionnelles de l'ingénieur : l'exemple des programmes de génie électrique et de génie informatique de l'Université de Sherbrooke, J3eA 7 HORS SÉRIE 1 (2008) 1029, DOI: 10.1051/j3ea:2008028.
- [7] F. Plumier, P. Bleus, C. Geuzaine, Collaboration Industrielle et Enseignement par Projet en Electronique de Puissance. J3eA 8 HORS SÉRIE 1 (2009) 1015, DOI: 10.1051/j3ea:2008056..
- [8] <http://www.enit.fr/sr/239/index.php>