

# LE ROBOT COMME OUTIL PÉDAGOGIQUE DANS LA FORMATION SCIENTIFIQUE DES INGÉNIEURS

L. Collin, D. Lemaître

*ENSIETA, 2 rue François Verny, 29806 Brest cedex 9*

[ludovic.collin@ensieta.fr](mailto:ludovic.collin@ensieta.fr), [denis.lemaitre@ensieta.fr](mailto:denis.lemaitre@ensieta.fr)

## I INTRODUCTION

Dans le domaine de la pédagogie les écoles d'ingénieurs françaises ont à résoudre un certain nombre de difficultés qui tiennent à leur vocation particulière de formations professionnalisantes, à cheval entre la formation scientifique académique et les activités professionnelles visées. Elles sont confrontées à la nécessité de transmettre des connaissances scientifiques et techniques de haut niveau, mais dans une logique applicative, de mise en œuvre pratique dans le but de résoudre des problèmes. Un défi est de parvenir à ce que les étudiants s'approprient les connaissances (savoirs et savoir-faire) comme des outils ou des objets manipulables, et donnent ainsi du sens à leurs apprentissages. Ces difficultés expliquent, dans des institutions assez autonomes comme les écoles d'ingénieurs, le succès de pratiques innovantes qui visent globalement à résoudre les tensions entre les exigences de la formation scientifique, l'adaptation aux usages industriels et les aspirations des étudiants.

La présente communication propose l'analyse d'un dispositif pédagogique conçu pour l'enseignement des microprocesseurs en première année d'une école d'ingénieurs en trois ans, autour de l'utilisation d'un robot. Ce dispositif pédagogique, mis en place par un enseignant chercheur venu de l'industrie, remplace un ensemble de cours et de TD plus traditionnels. Il illustre ainsi la manière dont évoluent les enseignements, vers une meilleure prise en compte tant des objectifs professionnels que de la motivation des étudiants. Il montre aussi combien évolue le rapport au savoir lorsque l'on passe d'une pédagogie de la transmission à une pédagogie active, c'est-à-dire de savoirs détenus à des savoirs agis ou agissants.

Après un état des lieux, une explicitation de la démarche et de la conception du dispositif, cette communication présente le dispositif pédagogique et le travail de conception pédagogique de l'enseignant, avant de dresser une rapide analyse de cette formation.

## II ÉTAT DES LIEUX

L'enseignement des microprocesseurs en école d'ingénieurs s'organise classiquement en deux temps :

1- aspects théoriques (architecture et langage)

2- applications pratiques lors de travaux dirigés ou de travaux pratiques. Il s'agit généralement d'exercices abordant ponctuellement différents aspects de la théorie, sans souci particulier d'une progression cohérente. L'articulation théorie/applications n'est pas conçue comme un tout mais constitue deux phases nettement distinctes.

Cette organisation découle du postulat logique que pour utiliser le microprocesseur, il faut au préalable maîtriser son langage, ce qui nécessite en amont de connaître le contexte matériel auquel celui-ci se réfère.

Si cette organisation s'avère efficace pour des étudiants expérimentés, elle se heurte avec des débutants à l'obstacle de l'acquisition des données théoriques :

- l'étude de l'architecture du microprocesseur indépendamment de ses utilisations est trop abstraite ; faute de recul, les étudiants se bornent à accumuler des informations dont ils ne sont pas en mesure de percevoir la pertinence,

- l'énumération des instructions (197 possibilités dans la situation considérée !) est fastidieuse et apparemment stérile dans la mesure où elles apparaissent détachées de leurs applications.

En conséquence, cette phase du cours est plus propice à générer l'ennui que la curiosité. Parce qu'elle est trop abstraite et théorique, elle offre au néophyte peu d'opportunités de s'impliquer dans la participation au cours et n'est guère favorable à la motivation des élèves, alors même qu'ils découvrent la discipline.

Dans l'école concernée, les insuffisances de ce format de cours ont été particulièrement mises en évidence depuis que cette matière est étudiée non plus en deuxième, mais en première année.

A leur entrée dans l'école d'ingénieurs, les élèves ont en effet un profil généraliste, et manquent notamment de connaissances spécialisées en électronique.

Par ailleurs, de l'avis de la majorité des enseignants du domaine, l'inexpérience de ces jeunes élèves est aussi cause :

- de leur difficulté à utiliser les manuels de référence, rédigés en anglais et conçus pour des professionnels,
- de leur manque d'autonomie et de méthode, qui les laisse désemparés devant l'obstacle imprévu,
- du peu d'esprit critique et d'aptitude aux choix, faute de recul.

### III DÉMARCHE

L'impératif d'adaptation à l'évolution technologique nécessitait le changement du microprocesseur pris comme objet d'étude. L'enseignant a saisi cette opportunité de reconsidérer simultanément l'approche pédagogique.

La solution vers laquelle l'enseignant s'est tourné a été influencée par son parcours personnel atypique (expérience en bureau d'études suivie d'une reprise d'études avant d'intégrer l'enseignement supérieur).

Durant trois ans, l'enseignant est resté en contact étroit avec l'industrie, tout en donnant des cours qui finançaient ses études ; c'est de la pratique simultanée de ces trois points de vue que sont nées quelques convictions pédagogiques :

- La motivation est la pierre angulaire de l'intérêt durable pour un apprentissage ;
- Une définition claire des objectifs est donc cruciale : la notion de motivation accessible à la majorité ne prend de sens que si elle peut se porter sur un objet explicite, réaliste et stimulant ;
- Une compréhension profonde passe par la réalisation et la vérification. Le test est donc une étape incontournable du dispositif pédagogique ;
- A cet égard, le statut de l'erreur doit être pris en considération, pour sa dimension d'expérience formatrice.

L'esprit de la démarche pédagogique choisie par l'enseignant est contenu dans la phrase du professeur Seymour Papert, qui a servi de catalyseur à la réflexion : « *La connaissance seule ne suffit pas. La vraie compréhension vient de la mise en pratique* ».

### IV DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE

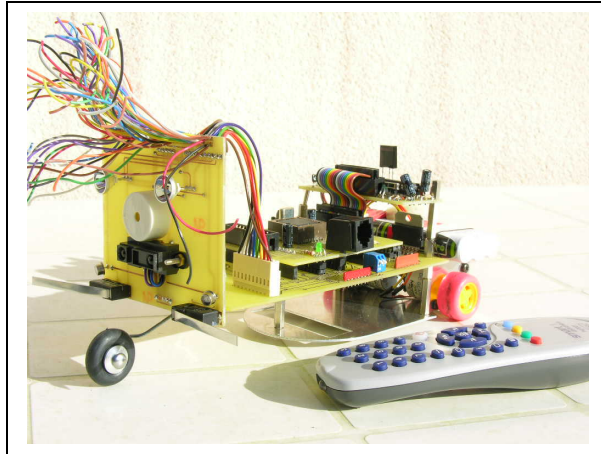
C'est un robot qui servira de fil conducteur à l'enseignement :

- sa matérialité en fait un objet d'étude attractif ;
- ses aspects transversaux (notamment avec l'électronique, l'asservissement...) sont riches ;
- le microprocesseur est au cœur de l'objet.

Cahier des charges du dispositif :

- La somme des exercices faits en travaux dirigés constituera le programme complet du robot ;
- Chaque séance de travaux dirigés devra déboucher sur une avancée visible dans le fonctionnement du robot ;
- L'enseignement s'organise selon une alternance cours magistral/travaux dirigés ;
- Chaque cours magistral préparera la séance de travaux dirigés suivante. Ses objectifs seront explicitement formulés ;

- Choix du nouveau microprocesseur en cohérence avec la démarche pédagogique :
  - architecture moderne et simple
  - nombre d'instructions réduit (passage effectif de 197 à 33 instructions)
  - microprocesseur utilisé dans l'industrie
  - logiciels de programmation gratuits
  - communauté d'utilisateurs importante sur Internet
- Les notions théoriques (principalement d'architecture) de l'enseignement qui ne pourraient pas être mis en œuvre dans les séances pratiques seront rejetées dans une dernière séance. L'aridité de la dimension théorique de cette séance devrait être atténuée par la compréhension de l'utilité de chaque élément étudié car déjà utilisé en pratique.



## V CONCEPTION

### V.1. Conception du cours

L'enseignant a élaboré une progression cohérente d'exercices couvrant l'ensemble des notions au programme. C'est de cette progression qu'a été déduite la conception du robot, puis le plan d'ensemble du cours.

Celui-ci s'articule selon une succession de trois couples de séances, fondés sur l'alternance séance théorique/séance pratique, auxquels s'ajoute un dernier cours théorique et une séance d'évaluation finale. On aura compris que si la démarche présente apparemment les caractéristiques d'une pédagogie classique (s'appuyant sur un cours théorique qui mène aux applications pratiques), la démarche est inverse d'un point de vue didactique. L'enseignant conçoit en réalité son cours en partant de la séance pratique, à partir de laquelle il déduit le contenu strictement utile de la séance théorique.

Dans ces conditions, on peut donc être assuré :

- que *seules* les notions théoriques *utiles* à la pratique seront abordées,
- que *toutes* les notions théoriques seront réinvesties en séance pratique.

Il en découle :

- l'assurance que l'intégralité du contenu des séances théoriques est utile immédiatement,
- la garantie de la fonctionnalité effective de l'articulation théorie/pratique,

et, partant, une remotivation des élèves qui sont mis en situation de constater, à l'échelle des couples de séances, la pertinence des notions abstraites.

D'autre part, chaque couple de séances répond à un ou plusieurs objectifs pédagogiques, qui sont traduits pour les élèves en termes d'objectifs opérationnels, simples et explicites.

L'architecture du cours pourrait être résumée de la façon suivante :

	<b>Objectifs pédagogiques (enseignant)</b>	<b>Objectifs opérationnels (étudiants)</b>
0. Phase inaugurale Démonstration des fonctionnalités du robot	Illustration concrète de l'enjeu de l'ensemble du cours	Connaître l'objectif final : faire fonctionner le robot
1.1 séance théorique 1.2 séance pratique	- Découvrir et utiliser les instructions de base - Gérer les entrées/sorties du microprocesseur	Faire rouler le robot
2.1 séance théorique 2.2 séance pratique	Découvrir et utiliser les ressources internes du microprocesseur	Le robot suit la lumière et évite les obstacles
3.1 séance théorique 3.2 séance pratique	Découvrir et utiliser des notions avancées de programmation	Piloter le robot avec une télécommande de TV
4 séance théorique finale	Découvrir l'architecture et le fonctionnement interne du microprocesseur	Comment fonctionne un microprocesseur
5. Evaluation finale		

Le dispositif vise à assurer la lisibilité du cours dans son ensemble; sa structure est sécurisante pour les étudiants et garantit à l'équipe pédagogique (enseignant + 8 assistants, entre lesquels se répartissent les 150 élèves pour les séances pratiques) un cadre fiable, précisément circonscrit, à l'intérieur duquel on peut évoluer assez librement, sans craindre des disparités fondamentales de contenus.

## **V.2. Conception des documents pédagogiques**

Les étudiants ont à leur disposition :

- la documentation technique du fabricant du microprocesseur,
- les plans du robot,
- la copie des transparents commentés en cours : très synthétiques, ils servent de support à une prise de notes autonome des explications développées pendant le cours. Ils font systématiquement l'ellipse des données qui seraient redondantes avec les autres supports (par exemple le langage du processeur) : l'enjeu est de stimuler l'assiduité et d'habituer les étudiants à se reporter d'eux-mêmes à la documentation technique, rédigée en anglais, ou à la lecture des plans.
- le réseau informatique de l'école : les étudiants y retrouvent les exemples développés en cours et les corrigés des exercices.

## **V.3. Conception des travaux dirigés**

### **V.3.1. Constats préalables**

D'ordinaire, les séances de TD regroupent une vingtaine d'étudiants, qui travaillent seuls sur support papier (TD « papier »), ou en binômes sur micro-ordinateur (TD « machine »).

### TD « papier »

Principe	Programmes réalisés sur papier puis correction magistrale au tableau
Avantages	- Attention focalisée sur des notions parfaitement circonscrites - L'étape de correction est l'occasion d'échanges avec le groupe et avec l'enseignant
Inconvénients	Les solutions alternatives des étudiants ne peuvent être testées pratiquement : → résultats abstraits → savoir accaparé par l'enseignant, au détriment de situations d'autonomie où l'étudiant pourrait analyser ses réussites ou ses erreurs.

### TD « machine »

Principe	Programmes élaborés sur un micro-ordinateur, par binômes
Avantages	- Solution testée immédiatement - Le binôme peut être stimulant (émulation, complémentarité)
Inconvénients	- Attention détournée par l'apprentissage simultané du logiciel permettant la programmation du microprocesseur. - Echanges collectifs difficiles : le PC accapare toute l'attention - Tendance à l'activisme induite par la situation pratique : en cas d'obstacle, on préfère recopier la solution sur un binôme voisin que prendre le temps d'analyser le problème - Difficulté d'aller à son propre rythme en raison de la présence du binôme - Mauvaise lisibilité de ses performances propres en raison de l'action du binôme

## V.3.2 Solution retenue

### Cahier des charges

- La solution recherchée visera à concilier les avantages des deux situations ;
- Les exercices devront être calibrés de façon à autoriser, sur la durée de la séance, un travail de résolution autonome et un temps de dialogue collectif ;
- Le volume d'exercices sera conçu de façon à garantir un socle commun, auquel s'ajouteront des exercices en option, de façon à répondre à la diversité des rythmes de travail des étudiants ;
- Sans chercher à piéger systématiquement les étudiants, les exercices devront pleinement tirer profit de l'opportunité de tester les solutions en mettant les étudiants en situation d'analyse et de résolution de problème (cf. statut de l'erreur formatrice).
- les corrigés des exercices devront être à disposition des étudiants (réseau informatique de l'école) après chaque séance de TD.

### Mise en oeuvre

La séance de TD se déroule donc dans une salle de cours banalisée (de type TD « papier »), où l'enseignant dispose d'un ordinateur, d'un video-projecteur et du robot, et va jouer le rôle de secrétaire des étudiants.

Chaque exercice se déroule en trois temps :

1. résolution individuelle et rédaction sur papier

2. saisie en direct du programme, dicté par les étudiants à l'enseignant. L'effet de direct est assuré par la video-projection. Cette phase est fondée sur la dynamique des échanges, qui aboutissent à l'élaboration collective d'un programme. Simultanément, les étudiants se familiarisent avec la manipulation du logiciel, dont l'enseignant fait indirectement la démonstration.
3. Chargement du programme dans le robot et mise en route. En cas de problème, on revient facilement à la programmation pour rechercher puis tester collectivement une solution. L'intérêt du robot s'illustre ici pleinement : la dimension concrète et ludique des tests est particulièrement gratifiante.

#### **V.4. Conception du robot**

Sa conception modulaire<sup>1</sup> en fait un objet d'étude d'un grand potentiel ; les autres disciplines peuvent aisément se greffer sur sa structure de base pour élaborer un objet illustrant leur matière ou susceptible de mettre en œuvre des approches techniques différentes.

Enfin, dans le souci que le robot constitue non seulement un fil d'Ariane qui donne sa cohérence globale au cours, mais une sorte de compagnon humanisé des apprentissages, il a été baptisé du prénom familier de REMI (Robot pour l'Enseignement des Microprocesseurs).

#### **V.5. Evaluation finale**

Sa conception se heurte à des obstacles pratiques (principalement temps et matériels disponibles) inhérents au nombre d'étudiants (150) à évaluer à la fois.

Elle consiste donc en un contrôle classique sur papier, solution par défaut peu satisfaisante d'un point de vue pédagogique, car en relative contradiction avec la démarche générale adoptée, mais qui, faute de mieux dans l'état actuel, reste cependant efficace pour évaluer un tel nombre d'étudiants.

## **VI ANALYSE DU DISPOSITIF**

### **VI.1. Contextualisation**

L'intérêt d'un dispositif comme celui-là réside dans l'effet de contextualisation qu'il apporte aux étudiants. Les performances visibles du robot permettent de donner du sens à des enseignements qui classiquement ne motivent pas les étudiants, lorsqu'ils apparaissent comme détachés de leur réalité. Ici les contenus d'enseignement sont incarnés dans le personnage du robot (REMI). Dans ce cas précis, la contextualisation ne porte pas sur l'immersion dans l'activité professionnelle (stages ou projets réalisés au profit d'une entreprise), mais sur la création d'une situation de vie propre au cadre de la formation. Cette situation de vie repose sur un défi (faire fonctionner le robot) et la manipulation d'un objet concret qui flatte l'imaginaire. Le robot, qui n'a qu'une fonction pédagogique, constitue néanmoins un objet de médiation vers la réalité professionnelle qu'il permet d'imaginer, et vers laquelle l'étudiant peut se projeter.

### **VI.2. Du savoir à l'objet**

Le dispositif pédagogique présenté ici offre un exemple du changement de statut que les pédagogies actives donnent aux savoirs dans les apprentissages. Dans une pédagogie transmissive classique, les savoirs scientifiques constituent un héritage savant, organisé sous forme d'énoncés à valeur universelle que l'enseignant expose aux étudiants. Ces derniers ne savent selon quelle modalité ils auront à mobiliser ces contenus dans leur activité future. Dans le cas de notre robot, le savoir existe dans et par l'objet, qui constitue une matérialisation de la connaissance. Les savoirs sont projetés vers l'avenir (leurs applications) et vers l'activité visible : ils sont performés.

---

<sup>1</sup> L'enseignant remercie vivement Gilles Le Maillot du département Electronique de l'ENSIETA pour sa participation très active à la conception et à la réalisation du robot.

A l'inverse de la pédagogie transmissive le risque de ce type de dispositif est la transmission d'une connaissance scientifique parcellaire et non généralisable (liée seulement à l'objet spécifique). Dans notre cas la conception du robot (comme outil le plus représentatif possible) s'accompagne d'activités de formation (par les cours, les TD et les polycopiés) qui visent à éviter cet écueil.

### **VI.3. L'apprentissage par l'action**

L'apprentissage des microprocesseurs à l'aide du robot est un bon exemple de pédagogie active au sens où l'étudiant réalise ses apprentissages dans l'action, par le débat scientifique qui s'installe lors des TD et par la mise en œuvre pratique du robot. Nous nous situons dans une logique pragmatique au sens de John Dewey, dans la mesure où c'est par l'expérience construite entre les étudiants et en fonction des résultats observables que se réalisent les apprentissages. Le statut accordé au test et à l'erreur font de ces apprentissages une véritable enquête menée de manière collaborative.

Mais là encore la démarche comporte certains risques : les élèves-ingénieurs aimant se situer dans le « faire », il faut éviter de favoriser un activisme qui leur ferait perdre la réflexivité nécessaire à la fixation des connaissances. Les situations d'enseignement plus classiques qui entourent l'apprentissage par l'action constituent un cadre nécessaire à la formation.

## **VII CONCLUSION**

Le robot est un objet de médiation pédagogique particulièrement riche : il constitue un artefact à la conception duquel les étudiants participent dans leur formation, il incarne à leurs yeux les usages concrets des microprocesseurs tels qu'ils existent dans les contextes industriels, il représente également un objet de fascination qui occupe les imaginaires des siècles à travers les automates.

Construit autour de l'objet robot, le dispositif présenté ici offre un bon exemple des orientations stratégiques des pédagogies actives, vers l'adaptation à la réalité économique et sociale, la contextualisation des savoirs autour d'applications concrètes, l'orientation pragmatique des apprentissages.

Dans le même temps il montre que la médiation pédagogique est indispensable, entre les savoirs académiques et les activités professionnelles. Les pédagogies transmissives ont tendance à confronter les élèves aux savoirs tels qu'ils existent, sans toujours les didactiser suffisamment. A l'inverse, la tentation existe de confronter directement les étudiants à la réalité professionnelle, ce qui les prive d'une prise de recul et d'une vision d'ensemble nécessaires à l'acquisition des compétences. Entre les deux existe le travail de médiation pédagogique, valorisé ici par l'utilisation du robot comme objet d'apprentissage.

## **RÉFÉRENCES**

- ALTET, M. (2003). *Les pédagogies de l'apprentissage*. Paris, P.U.F.
- ANNOOT E. et FAVE-BONNET M.-F. (2004). *Pratiques pédagogiques dans l'enseignement supérieur : enseigner, apprendre, évaluer*. Paris, L'Harmattan.
- DEWEY, J., (1993), *Logique, la théorie de l'enquête*. Paris, P.U.F.
- FABRE M. (1996). *Penser la formation*. Paris, P.U.F.
- GIAMACHI F. (2002). *Robots mobiles programmables, Techniques avancées*. Paris, Dunod.
- GIAMACHI F. (2001). *Construisons nos robots mobiles*. Paris, Dunod.
- GIAMACHI F. (2000). *Petits robots mobiles - Etude et construction*. Paris, Dunod.
- MORANDI F. (1997). *Modèles et méthodes pédagogiques*. Paris, Nathan.