

ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE ET FORMATION DE BASE EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Pierre Nonnon

Nos recherches sur le développement de stratégies cognitives et sur l'acquisition en laboratoire d'un savoir-faire expérimental avec des étudiants des secteurs professionnels nous ont conduit à développer un système d'enseignement qui facilite le transfert d'un mode de raisonnement opératoire concret vers un mode de raisonnement opératoire formel. Ce transfert est aujourd'hui nécessaire et prérequis, non seulement pour la formation scientifique, mais aussi pour la formation technique et professionnelle. Cette façon de faire constitue l'essentiel de la robotique pédagogique (RP), c'est un environnement d'Expérimentations Assistées par Ordinateur (ExAO) où le robot est à la fois objet et outil d'apprentissage, un environnement adidactique qui place l'apprenant en situation de résolution de problèmes techniques en mobilisant chez lui des savoirs et des savoir-faire en mathématiques et en science. Notre discussion portera sur l'impact d'activités à caractère inductif, sur la compréhension de phénomènes technologiques, leurs explications scientifiques et leurs formalisations mathématiques par des étudiants en formation professionnelle (FP) ou des adultes avec bas niveau de qualification.

1. INTRODUCTION

Si l'on considère que dans les pays industrialisés la croissance économique s'explique en grande partie par l'innovation technologique, il devient essentiel pour toute société de capitaliser sur la formation en science et technologie de ses ressources humaines. Il faut miser sur une augmentation du nombre et sur la qualité des scientifiques, des ingénieurs et des techniciens. Ceci ne peut se faire sans miser de plus en plus sur une formation initiale et continue de qualité. Malheureusement, beaucoup trop de jeunes et d'ouvriers en recyclage ont développé un sentiment d'inaccessibilité, voire de rejet, face à la science et à son caractère abstrait. La robotique pédagogique devrait permettre de surmonter cet obstacle en proposant un environnement d'apprentissage plus concret, plus signifiant et plus convaincant parce que basée sur l'expérimentation de l'apprenant.

2. LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET TECHNIQUE ET LES NOUVELLES COMPÉTENCES

Les changements technologiques imposent à l'industrie de réviser à la hausse les qualifications professionnelles requises pour ses employés. L'introduction de l'automatisation dans le

le contenu du travail deviendra plus abstrait, multidisciplinaire, c'est-à-dire plus mental que manuel

processus de production a transformé radicalement l'apprentissage des tâches traditionnelles. Chaque nouvelle technologie introduite dans ce processus est un système complexe qui demande une maîtrise des concepts de base technoscientifiques comme par exemple les concepts associés à la mécanique, à l'électronique et à l'informatique. Cette acquisition des concepts fondamentaux en formation professionnelle est certainement le défi pédagogique des prochaines années. Avec l'automatisation des fonctions manuelles, nous assistons à une intégration des tâches et au développement de la polyvalence qui requiert la possession d'un savoir-faire fondamental. Cette évolution des technologies, qui nécessite une intégration plus grande des savoir-faire et des savoirs, nous oblige à adapter nos approches pédagogiques à cette nouvelle réalité (Tanguy, L., 1986 ; Aballea, F., 1987 ; Bernier, C., 1983 ; Trist, E.L. *et al.*, 1981 ; Labonté, T., 1983 ; Inshauspé, P., 1998). Jusqu'à maintenant, la formation professionnelle mettait plus d'accent sur la dimension "maîtrise de la tâche" que sur la formation fondamentale et ceci même si l'apprenant dans sa formation devait suivre plusieurs cours de formation générale en même temps que les cours spécifiques du secteur professionnel.

L'école a de la difficulté à répondre aux nouvelles demandes du marché du travail. Aux reproches souvent donnés à une formation professionnelle non ponctuelle, mal adaptée aux besoins minimaux du marché du travail, s'ajoute le reproche inverse, c'est-à-dire de ne pas donner une formation de base suffisante (Conseil Supérieur de l'Éducation, 1987 ; Emploi et Immigration Canada, 1984 ; Ferrand, J.-L. *et al.*, 1987).

La difficulté tient au fait que l'ajout de cours complémentaires de sciences fondamentales est pratiquement inutile aux apprenants du secteur professionnel lorsque ces cours ne sont pas intégrés au processus concret d'apprentissage qu'ils doivent effectuer pour acquérir une compétence professionnelle.

3. LES NOUVELLES COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES REPOSENT SUR L'INTÉGRATION DES SAVOIR- FAIRE ET DES SAVOIRS

engager les jeunes dans des activités axées sur la maîtrise et la perception technique et scientifique des problèmes pratiques

Les cours de sciences et mathématiques seraient, selon nous, pertinents pour la formation pratique si l'on pouvait les contextualiser en les associant aux concepts scientifiques appliqués en formation professionnelle.

Le plus important est d'engager les jeunes dans des activités axées sur la maîtrise et la perception technique et scientifique des problèmes pratiques. On doit leur montrer et les convaincre que dans le domaine des procédés techniques, pour être efficaces, la simple intuition et la maîtrise de la tâche ne

diagnostiquer
la cause
d'un problème
technique revient
à concevoir
un schème
de contrôle
des variables
en sciences
expérimentales

suffisent plus, qu'il est indispensable de tenir compte de l'aspect scientifique et systémique, ce qui est non seulement utile et nécessaire, mais aussi plus efficace. Ceci s'applique autant pour les étudiants de la formation professionnelle initiale que pour les étudiants adultes de la formation professionnelle continue (Cauzinille-Marchèche, E. *et al.*, 1989). Ce qui doit caractériser la pensée technico-pratique, c'est l'étude rationnelle ou systématique du problème que la réalité nous impose afin de trouver la solution la plus appropriée à chaque situation. Dans cette approche pédagogique, pour chaque situation on doit tenir compte des lois scientifiques et de la manière dont celles-ci sont combinées avant de les soumettre sous forme de proposition ou de problème à résoudre aux apprenants. Ce travail de transposition didactique nous permet de définir un problème scientifique et technique sous forme d'un problème didactique (Johsua, S. et Dupin, J.-J., 1993). Ici, on ne part pas seulement des savoirs savants mais de savoirs et savoir-faire techniques exprimés par les experts du domaine. C'est principalement à partir de ces savoirs que nous devons construire notre situation adidactique en y intégrant, comme nous le verrons plus loin, les outils cognitifs nécessaires et utiles pour appréhender le phénomène à l'étude. Cette approche devra permettre d'inférer des solutions possibles directement déduites de la démarche scientifique. Par exemple, identifier un problème technique pourra être conçu comme la construction d'une hypothèse, diagnostiquer la cause de ce problème technique reviendra à concevoir un schème de contrôle des variables pour valider une relation de causalité en sciences expérimentales (Postic, M., 1971 ; Thornton, R.K., 1987).

Il s'agit en effet d'une approche formative axée sur le technico-pratique et le scientifico-théorique. Il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition séquentielle de la théorie vers la pratique, de la connaissance vers l'action qui se prêterait bien à la transmission d'un savoir déclaratif, relevant d'un domaine spécifique et portant plus sur la structure et la dynamique du contenu de savoir. Cette juxtaposition séquentielle pourrait s'avérer contre-productive si elle était implantée en formation professionnelle. Nous devons miser sur le goût de cette clientèle pour le concret et l'engager dans des activités d'apprentissage moins traditionnelles, plus contextualisées, compatibles avec une approche intégrative et constructiviste (*).

(*) Les chapitres 2 et 3 ont été écrits en collaboration avec J.-P. Theil étudiant dans notre laboratoire.

4. CARACTÉRISTIQUES DES ÉTUDIANTS EN FORMATION PROFESSIONNELLE ET CONTEXTE D'APPRENTISSAGE

Le contexte de cet article s'appuie sur nos recherches et notre expertise avec :

- des apprenants adultes n'ayant pas complété leur formation secondaire et à qui nous voulons donner une formation de base en mathématique, science et technologie avant d'entreprendre des études techniques (Girouard, M. & Nonnon, P., 1999) ;
- des apprenants en milieu industriel et des élèves ingénieurs pour lesquels nous avons réalisé un environnement d'apprentissage en simulation pour la compréhension et la conception de systèmes hydrauliques industriels ; cet environnement utilisait une animation virtuelle du phénomène simulé, présentée en simultanéité avec la représentation graphique de celui-ci (Cervera, D. & Nonnon, P., 1993) ;
- des étudiants en technique industrielle de niveau CEGEP (équivalent du bac technique) placés dans un environnement d'apprentissage qui leur permet d'explorer et de manipuler un système technique et de visualiser les interactions des variables présentées en même temps sur l'écran de l'ordinateur sous formes graphique et d'animations virtuelles. (Hudon, R. & Nonnon, P., 1993). Cet environnement de robotique pédagogique permettait la représentation de phénomènes non observables telles les interactions réelles, lues sur des capteurs, entre la pression et la température à l'intérieur d'un système de réfrigération. En plus d'avoir un contrôle direct sur le système, l'étudiant disposait sur l'écran d'un ordinateur de deux sources d'informations simultanées sur le fonctionnement interne de ce système de réfrigération : une animation virtuelle sensible et une représentation graphique abstraite des interactions de variables.

des recherches
avec trois types
de population

appréhender
l'abstrait
par le sensible

Dans les deux dernières recherches on exploitait le modèle de la lunette cognitive en permettant à l'apprenant de manipuler directement et d'appréhender l'abstrait (le graphique) par le sensible (l'animation virtuelle qui se présente ici comme une sorte de radioscopie virtuelle de l'interaction des variables internes non observables).

À part les élèves ingénieurs, c'est un fait que les étudiants en formation professionnelle initiale et continue (en recyclage) sont en général peu intéressés par les disciplines scolaires, préférant la pratique à la théorie. D'ailleurs, ils ont choisi le secteur professionnel soit pour en terminer le plus rapidement possible avec les cours scolaires et s'intégrer plus vite au marché du travail, ou bien ce secteur leur ayant été imposé parce qu'ils montraient des problèmes spécifiques tels que : carence des notions de base en mathématiques, en sciences, en français, capacité d'abstraction limitée, difficulté d'acquisition

des notions théoriques nécessaires à la compréhension des applications pratiques (Lemercier, D., 1985 ; Gillet, B., 1986).

D'autre part, plus ces apprenants ont eu des difficultés dans les apprentissages scolaires, plus ils dévalorisent le savoir théorique. Ils sont néanmoins intéressés à la production immédiate et par la même occasion aux savoirs qui leur paraissent liés et utiles aux réalisations concrètes comme la construction de systèmes technologiques. Ces étudiants semblent privilégier ces apprentissages et réussir quand il s'agit d'apprendre pour et par l'action. Le fait qu'ils possèdent un savoir syncrétique, localement efficace, un savoir-faire *ad hoc* et implicite nous offre, il nous semble, une base didactique stable à partir de laquelle il est possible de construire des apprentissages (Jeantet, A. *et al.*, 1985 ; Vivet, M., 1981).

apprendre pour
et par l'action

5. UN ENVIRONNEMENT D'APPRENTISSAGE EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE, À LA FOIS OBJET ET OUTIL D'APPRENTISSAGE

Dans la lignée de ce que nous venons de dire, nous allons construire un environnement d'apprentissage assisté par ordinateur qui permette à l'apprenant de s'engager dans une démarche où le défi consiste d'abord à construire et manipuler un objet technique avant d'aborder les principes scientifiques sous-jacents.

Pour cet environnement d'apprentissage, nous avons choisi de faire réaliser un treuil électrique par l'apprenant afin de lui permettre d'appréhender les concepts liés à l'électricité en même temps que ceux liés à la mécanique.

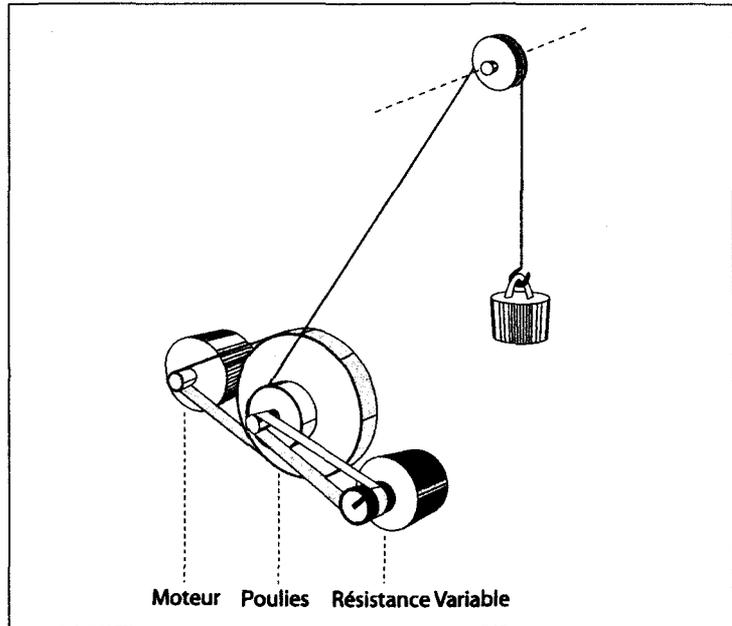
l'apprenant doit
construire un treuil
électrique

Pour lever des masses de 0 à 1 kg, l'apprenant a comme défi technique de construire un treuil électrique (figure 1) avec un jeu de poulies ou d'engrenages, un moteur et une alimentation de 0 à 12 volts. Il doit ajuster le rapport des poulies ou engrenages deux à deux pour lever par exemple la masse le plus rapidement possible, découvrant ainsi l'utilité de les assembler pour multiplier la vitesse en partant de la plus grande vers la plus petite et de la plus petite vers la plus grande pour diviser la vitesse et monter moins vite, permettant ainsi d'augmenter la charge. Ce système de poulies sera alors un analogue mécanique des opérations de multiplication et de division, incluant la réversibilité et la transitivité de ces opérations.

Cette activité est similaire à celle de l'étude d'un circuit électrique simple, de la relation entre la tension et le courant dans un résistor où l'on a remplacé ce résistor par un moteur électrique. En agissant sur le voltage, on fait bien sûr varier le courant, mais aussi le mouvement mécanique.

Pour mesurer l'énergie mécanique, nous avons conçu un système de mesure pour évaluer la hauteur de la masse soulevée

Figure 1. Treuil électrique



par le treuil avec un potentiomètre couplé mécaniquement au moteur. La variation de hauteur sera proportionnelle à la variation de la résistance transformée ici en variation de voltage. Ainsi la hauteur sera directement proportionnelle au voltage lu sur le potentiomètre. Dans cette activité, l'apprenant transforme la variable voltage en variable position à l'aide du graphique, il doit ensuite modéliser la relation - position = f (tension) - en utilisant une équation algébrique.

En mesurant les variables tension (V), courant (I) et hauteur (h), l'apprenant pourra construire des capteurs virtuels qui combineront plusieurs capteurs et constantes pour mesurer et présenter en temps réel :

- la puissance électrique ($P_e = U \times I$) ;
- la puissance mécanique ($P_m = M \times g \times h / t$) ;
- l'énergie électrique ($E_e = P_e \times t$) ;
- l'énergie mécanique ($E_m = M \times g \times h$).

6. ANALYSE DE LA SITUATION D'APPRENTISSAGE

Avec notre système d'acquisition de données que nous avons appelé ACQ microlabs, l'apprenant peut transformer une

grandeur mesurée en une grandeur calculée. Ici, le système peut mesurer le voltage au point milieu du potentiomètre et transformer, par une équation du premier degré, cette grandeur en variable position. La construction ingénieuse de ce capteur virtuel simple (Fournier, F., 2002) lui permet ultérieurement de positionner automatiquement la masse soulevée par le treuil et d'utiliser cette variable position pour calculer des variables plus complexes comme la puissance et l'énergie mécanique. Il pourra alors vérifier et mesurer le transfert de l'énergie électrique en énergie mécanique et évaluer le rendement de ce transfert (rendement = E_m/E_e).

inverser la
hiérarchie normale
d'apprentissage
en laboratoire

Les possibilités technologiques offertes par la robotique pédagogique nous permettent de mesurer et de représenter en temps réel une combinaison de variables, extraite d'une relation entre deux variables ou d'une loi physique simple exprimée par une équation. Avec l'environnement du treuil électrique, l'idée est d'inverser la hiérarchie normale d'apprentissage en laboratoire – partir du particulier vers le général –, de procéder de manière inverse, soit du plus complexe au plus singulier. Procéder en quelque sorte par une analogie descendante. Pour ce faire, nous avons, avec ce treuil électrique créé une situation adidactique contrôlée par ordinateur et gérée avec un logiciel (ACQ) qui permet d'expérimenter directement avec des variables complexes comme l'énergie électrique, mécanique, thermique, etc. Ce logiciel nous permet de provoquer et de visualiser les interactions deux à deux de ces variables complexes. Par exemple l'enseignant après avoir modélisé par des équations algébriques les énergies mécaniques et électriques va construire un environnement où l'apprenant pourra observer et analyser la transformation d'une énergie électrique en énergie mécanique dans un moteur. En modifiant la tension ou le courant dans le moteur, il observera le déplacement de la charge, son effet direct sur l'énergie mécanique et simultanément son effet sur le tracé graphique de l'énergie électrique et de l'énergie mécanique, incluant ainsi le transfert d'énergie.

le concept
d'énergie
mécanique
semble facile
à appréhender

Lors de la mise à l'essai préliminaire de cet environnement didactique, nous avons constaté que la majorité des apprenants semblait avoir plus de facilités avec les concepts plus complexes d'énergie qu'avec les concepts plus simples de voltage et de courant. En analysant plus en détail la relation de l'apprenant avec l'environnement d'apprentissage du treuil électrique, nous avons observé que le concept de l'énergie mécanique semblait facile à appréhender. En effet, tous étaient capables de pressentir puis de prédire l'effet de la masse ou du déplacement sur l'énergie mécanique (le travail), même s'ils n'avaient aucune idée du calcul de l'énergie potentielle ($M \times g \times h$). Par contre ils n'étaient capables d'aucune intuition, ne nous donnant aucune prédiction sur la relation entre la tension et le courant et encore moins sur l'effet de chacune de ces variables sur l'énergie électrique. Nous pensons qu'avec le treuil, les apprenants disposent d'un référentiel sensoriel leur permettant d'étudier, non seulement l'effet de la

un langage
de codage
graphique comme
outil cognitif

masse sur la hauteur, mais aussi l'effet du voltage sur la puissance et l'énergie mécanique. En associant ces interactions de variables, appréhendables de manière sensorielle, à des graphiques présentés en temps réel, nous espérons, dans un premier temps, rendre ce langage de codage graphique abstrait plus signifiant de manière à ce que, dans un second temps, les apprenants l'utilisent comme support, comme outil cognitif pour les aider dans leurs investigations et leur raisonnement sur des entités abstraites comme l'énergie électrique, le voltage et le courant.

Cette possibilité de la robotique pédagogique d'expérimenter directement avec des variables complexes, et/ou des variables simples, sensibles ou abstraites, nous permet d'imaginer de nouvelles possibilités didactiques pour créer des outils et des aides cognitives dans des environnements d'investigation en technologie. De plus, cet environnement se prête bien à l'apprentissage coopératif, à l'utilisation du conflit sociocognitif pour améliorer l'apprentissage (Raisky, C. et Caillot, M., 1996), autant dans la planification, que dans la mise en œuvre, ou l'expérimentation et la discussion post-labo.

7. LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE (RP) ET L'ENSEIGNEMENT DES PROCESSUS SCIENTIFIQUES

Il existe peu de programmes d'enseignement assisté par ordinateur spécifiques à une discipline technique se concentrant sur l'utilisation de l'ordinateur dans le processus d'apprentissage et dans l'acquisition d'un savoir-faire de type processus de résolutions de problèmes (Forman, G. *et al.*, 1988 ; Baron, G.L., 1991 ; Fargette, J.-P. *et al.*, 1985 ; Nonnon, P., 1986).

la robotique
pédagogique
offre une
alternative aux
cours magistraux
et aux activités
de laboratoire
traditionnelles

La robotique pédagogique offre cette alternative aux cours magistraux, aux activités de laboratoire traditionnelles et ajoute une option supplémentaire aux programmes de simulation. Elle appartient au champ de la didactique et permet aux étudiants de réaliser des manipulations concrètes pour les amener à s'approprier les "gestes mentaux" qui constituent une partie du processus scientifique, la construction des opérations mentales. La robotique pédagogique s'inscrit dans une approche constructiviste de l'apprentissage en utilisant un ordinateur connecté au monde physique dans le but de produire et de mesurer des changements dans l'environnement ambiant (des expériences contrôlées et assistées par ordinateur). L'ordinateur sert ici d'interface entre les opérations d'acquisition et d'analyse de données, de rétroaction et de contrôle sur l'environnement physique. La robotique pédagogique permet à ces gestes mentaux de produire des résultats à la fois concrets et symboliques. De plus, elle minimise les retards et les erreurs qu'impliquent l'analyse et le traitement des données, laissant à l'apprenant plus de

temps pour la compréhension du phénomène (Arnold, M. *et al.*, 1987 ; O'Brien, R.M., 1982 ; Nicaud, J.-F., 1988 ; Vivet, M., 1989).

8. ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE ET MANIPULATION DIRECTE

appréhender
le phénomène
à l'étude
d'une manière
plus sensorielle,
plus globale

Du point de vue didactique, la RP est un dispositif technologique qui supporte un processus pédagogique de résolution systémique de problèmes. L'apprenant peut, via l'ordinateur, agir sur le phénomène à l'étude et visualiser en temps réel, sous forme graphique et mathématique, les données de son expérience, ce qui lui permet d'appréhender le phénomène à l'étude d'une manière plus sensorielle, plus globale. En s'adressant à des registres sémiotiques différents, on favorise l'acquisition de représentations structurantes, pertinentes pour organiser ses modes d'apprentissage en sciences et technologies.

Les étudiants peuvent se servir ici de leurs habiletés motrices pour effectuer des tâches, et de leurs sens pour l'évaluation de l'efficacité des gestes posés grâce à la fonction de contrôle de procédés réalisée par l'ordinateur. La RP leur permet de devenir explicites dans leurs raisonnements car ils peuvent visualiser ces implications avec un objet pour "penser avec" et un langage pour "communiquer avec". La RP permet aussi de capitaliser sur le goût pour le concret, la possession d'un savoir-faire psychomoteur et le recours à la double rétroaction, kinesthésique et visuelle qui caractérise et définit la population en formation professionnelle (Glasson, G.E., 1989 ; Forman, G. in Forman, G. *et al.*, 1988 ; Leroux, P., 1997 ; Vivet, M., 1989).

9. ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE ET REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Si l'on augmente l'utilisation de la représentation graphique et symbolique à travers la RP, cela permettra aux étudiants de démystifier celle-ci et de réhabiliter sa fonction d'outil cognitif "pour penser avec". En effet, l'étudiant de formation professionnelle a déjà l'habitude de travailler avec des représentations symboliques (courbes, schémas, tables, tableaux). Autant que les contenus à acquérir, et les autres savoirs théoriques plus verbaux, le langage graphique aide l'apprenant à se représenter les interactions entre les variables, ceci de la même manière que les langages de représentations semi concrets (langage kinesthésique, langage métaphorique) très utilisés par les sujets en formation professionnelle (Nonnon, P., 1986 ; Brasell, H., 1987). La situation d'apprentissage du

présenter
en simultanéité
le phénomène réel
et sa représentation
graphique
sur l'écran
d'un ordinateur

treuil permet de présenter en simultanéité le phénomène réel et sa représentation graphique sur l'écran d'un ordinateur. Par exemple, en manipulant le treuil, l'apprenant peut visualiser en même temps le déplacement de la charge et une représentation symbolique de celui-ci en fonction du temps. C'est cette appréhension de l'abstrait par le concret que nous avons décrite par la métaphore de la "lunette cognitive". Les résultats d'une étude réalisée avec plus de 150 étudiants adultes "décrocheurs" ont démontré que l'acquisition du langage graphique était facilitée par ce procédé didactique. Que non seulement son acquisition était signifiante et utile pour prédire les déplacements, la vitesse et l'accélération de la charge du treuil à partir du graphique, mais aussi que l'apprenant transférait l'utilisation de cet outil cognitif spontanément pour étudier et interpréter des interactions de variables en électricité et en mécanique, découvrant ainsi, de manière autonome les interactions de variables impliquées dans les lois d'Ohm et de Hook (Girouard, M. & Nonnon, P., 1999).

10. ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE ET REPRÉSENTATION MATHÉMATIQUE

permettre
la modélisation
mathématique
du phénomène
physique par
une expression
algébrique

Comme pour la modélisation graphique, la RP va permettre la modélisation mathématique du phénomène physique par une expression algébrique. Cette fonctionnalité, disponible à partir du graphique permet à l'apprenant de superposer, sur le tracé des données expérimentales, une courbe théorique en ajustant les paramètres de chaque terme de son équation. Par cet ajustement, l'étudiant devrait comprendre l'influence de chaque paramètre de l'équation sur l'évolution du tracé de la courbe théorique correspondante. Il devrait ainsi déterminer l'importance de chaque paramètre en relation avec le phénomène, essayer différentes équations, découvrir l'influence de chaque modification de variable du phénomène sur la courbe et sur son équation (Nonnon, P., 1997 ; Leinhardt, G., 1988).

11. ASPECTS THÉORIQUES

Grâce aux possibilités de l'ExAO où le micro-ordinateur travaille en modes conversationnel et graphique, mais aussi en mode de contrôle de procédés, nous pouvons envisager des environnements d'apprentissages qui permettent à l'apprenant :

- 1) d'agir sur un objet concret ;
- 2) de visualiser en simultanéité la conséquence de cette action et une représentation graphique de celle-ci ;
- 3) de modéliser cette action sous forme graphique et algébrique.

Grâce à cet outil cognitif, décrit par la métaphore de la lunette cognitive (Nonnon, P., 1986), nous permettons à l'apprenant d'appréhender l'abstrait par un contact direct et sensible avec la réalité.

En permettant ainsi de s'adresser simultanément à plusieurs registres sémiotiques différents, cet outil cognitif s'inscrit dans la théorie du double codage de Paivio (1979), où l'auteur analyse l'utilisation des représentations imagées pour faciliter la résolution de problèmes dans les systèmes mnésiques d'apprentissage.

La première étape de l'activité qui consiste à acquérir un langage symbolique signifiant (la représentation graphique) est conforme à l'approche constructiviste de J. Piaget (1970) et de Vygotsky (1978), où l'enseignement doit prendre en compte les représentations symboliques de l'apprenant comme outil d'articulation du réel et du théorique. Selon ces auteurs, ce sont ces représentations symboliques qui donnent du sens aux différents éléments qui interviennent dans la situation d'apprentissage. Par contre le processus d'acquisition d'un langage graphique de codage ne peut s'interpréter dans le seul cadre des théories piagétienne puisque l'on impose un système de représentations normalisé (un langage de codage graphique). Nous avons validé empiriquement (voir ci-dessus, paragraphe 9) ce mode d'apprentissage quasi behavioriste puisqu'il est basé sur la simple contiguïté entre le réel et le symbolique. Notons que le mode d'acquisition de ce langage de codage graphique en s'adressant simultanément à deux ensembles de registres sémiotiques, les registres non analogiques pour les représentations symboliques et les registres analogiques pour les représentations figuratives, offre des perspectives de recherche intéressantes sur les représentations et sur l'utilisation simultanée et le passage d'un registre sémiotique à l'autre. Ces questions sont fondamentales et intéressent de nombreux chercheurs en sciences cognitives et en didactique comme : Duval, R. (1995) ; Sperber, D. (2000) ; Cobb, P., Yaker, E., McClain, K. (2000) ; Bosch, M., Chevalard, Y. (1999).

cet environnement technologique est une situation didactique au sens de Brousseau puisqu'elle place l'élève au centre de ses apprentissages en lui donnant le contrôle de l'enseignement

La théorie piagétienne, selon laquelle la connaissance se construit par la seule activité de l'apprenant nous semblant restrictive et partielle, nous l'avons complétée par la théorie des situations didactiques de Brousseau (1998). L'environnement du treuil électrique fournit à l'apprenant un environnement technologique riche, propice à lui permettre de s'investir à la recherche des connaissances. Cet environnement lui permet d'être actif, de planifier chacune de ses expériences, et d'intégrer physiquement ou via plusieurs langages symboliques, analogiques ou formels. Cet environnement technologique présente les caractéristiques d'un milieu didactique au sens de Brousseau puisqu'il place l'élève au centre de ses apprentissages en lui donnant le contrôle de l'enseignement (dévolution de la construction du sens). Dans cet environnement de

laboratoire informatisé, l'apprenant est dans une situation où il agit directement sur le milieu et en reçoit des rétroactions. C'est le cycle complet de la démarche expérimentale qui est ainsi engagé : questions, démarche d'investigation, formalisation qui l'amènent de manière implicite à construire ou à reconstruire ses connaissances.

12. CONCLUSION

Les sciences et les mathématiques, et surtout les compétences qui en émergent, sont aujourd'hui incontournables pour envisager une formation dans des emplois de plus en plus technicisés. Pour donner une formation de base en mathématiques et en science aux employés ayant un bas niveau de qualification, il serait illusoire de les renvoyer sur les bancs d'école. Il faut changer nos pratiques pédagogiques, inverser l'organisation séquentielle qui place systématiquement les cours avant les travaux au laboratoire, la théorie avant la pratique, pour que le laboratoire ne soit pas réduit à une simple illustration de la théorie exposée par le professeur, mais qu'il permette l'investigation de la réalité avant de formaliser celle-ci sous forme de règle ou de loi. Pour aimer les sciences, il faut en faire, il faut engager les apprenants à la découverte des phénomènes technologiques, laisser plus de place à la curiosité, à l'exploration, à l'expérimentation et à la formalisation. Pour ce faire, nous devons fournir à l'apprenant un environnement réel d'exploration et d'expérimentation en technologie où il pourra développer des habiletés, des savoir-faire techniques avant de s'engager à la découverte des connaissances scientifiques, pratiquer l'induction expérimentale avant de formaliser les lois et les règles ainsi découvertes sous forme mathématique.

Dans ce contexte, l'ordinateur utilisé en mode conversationnel et graphique, mais aussi en mode de contrôle de procédés, nous permet de concevoir des environnements d'apprentissages, en interaction avec le phénomène à l'étude, où l'apprenant peut observer un phénomène, identifier les variables en interaction, prédire une relation de causalité, organiser cet environnement pour faire apparaître cette relation. Pour l'aider, on lui présente l'interaction des variables en temps réel sous forme graphique sur l'écran de l'ordinateur et on lui permet de modéliser cette interaction sous forme de règle exprimée par une équation algébrique. Dans cet environnement adidactique, il pourra de plus changer l'approche ascendante par une approche descendante en définissant des capteurs "virtuels" qui combineront plusieurs capteurs réels ou virtuels, permettant ainsi de présenter en temps réel ces variables complexes sous forme graphique sur l'écran de l'ordinateur (énergie électrique, mécanique, thermique...). Ce nouvel environnement est prometteur puisqu'il nous permet

pour aimer
les sciences,
il faut en faire

d'inverser la démarche de l'apprenant et d'expérimenter directement sur les différentes manifestations de l'énergie électrique et mécanique. On peut ainsi expérimenter avec le treuil le transfert de l'énergie électrique en énergie mécanique. La stratégie didactique consiste alors à expérimenter directement sur l'interaction de ces deux lois physiques en observant en temps réel le transfert de l'une dans l'autre d'une manière à la fois sensorielle et abstraite (par la visualisation en temps réel de la représentation graphique de leur interaction, $E_m = f(E_e)$ ou l'inverse). Pour analyser l'interaction des variables impliquées dans chacune de celles-ci, nous devons alors, en nous guidant sur les équations aux dimensions propres à chaque domaine, procéder de manière expérimentale traditionnelle, par contre, l'étudiant sera guidé dans sa démarche par le concept d'énergie à l'étude.

Nous n'avons pas encore vérifié les bénéfiques didactiques de cette situation adidactique qui permet, grâce à la RP, d'expérimenter directement le transfert d'énergie – l'effet d'un vecteur de variables indépendantes exprimé par une loi (énergie électrique) sur un vecteur de variables dépendantes exprimé par une autre loi (énergie mécanique).

une activité
d'apprentissage
répondant
à l'esprit
des nouveaux
programmes
de science et
technologie
québécois

Au moyen du treuil électrique, nous avons voulu créer une activité d'apprentissage répondant à l'esprit des nouveaux programmes de science et technologie québécois qui place les apprenants au centre de leurs apprentissages, dans une situation d'intégration de matières. Dans cette activité adidactique de construction technologique nous poursuivons l'objectif d'intégrer des savoir-faire et des savoirs en technologie, en science expérimentale et en mathématique.

Notre préoccupation principale dans l'utilisation des nouvelles technologies informatiques en éducation est de ne pas utiliser celles-ci comme une prothèse qui exempterait l'apprenant de tout effort de réflexion en effectuant le raisonnement à sa place. Les outils informatiques et didactiques doivent, au contraire, comme une orthèse, aider, soutenir, voire même provoquer sa réflexion sans jamais s'y substituer.

Pierre NONNON
Laboratoire de robotique pédagogique
Département de didactique
Université de Montréal

BIBLIOGRAPHIE

ABALLEA, F. (1987). *Formation professionnelle et adaptation des qualifications et des emplois aux nouvelles technologies*. Analyse transversale d'études 4. Paris : Ministère des Affaires Sociales et de l'emploi, Délégation à la Formation Professionnelle, 23/24.

ARNOLD, M. & MILLAR, R. (1987). Being Constructive : an Alternative Approach to the Teaching of Introductory Ideas in Electricity. *International Journal of Science Education*, 9, 5, 553-634.

BARON, G. L. (1991). *Informatique et apprentissages*. Paris : INRP, CNRS. In T. Boyle (1997). *Design for Multimedia Learning*. Prentice Hall Europe.

BERNIER, C. (1983). *Nouvelles technologies et caractéristiques du travail*. Montréal : IRAT.

BOSCH, M. & CHEVALLARD, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. Objet d'étude et problématique. *Recherches en didactique de mathématiques*, 19, 1, 77-124.

BRASELL, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research on Science teaching*, 24, 385-395.

BROUSSEAU, G. (1998). *Théories des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

CARBONELL, J.G., LARKIN, J.H. & REID, F. "Towards a General Scientific Reasoning Engine". Tech. report, Carnegie-Mellon University, Computer Science Department, 1983, CIP #445.

CAUZINILLE-MARCHÈCHE, E., MATHIEU, J. & WEIL-BARAIS, A. (1989). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.

CERVERA, D. & NONNON, P. (1993). Simulation et modélisation assistée par ordinateur. In *Regards sur la robotique pédagogique. Technologies nouvelles et éducation* (pp. 187-195). Paris : Service de technologie de l'éducation de l'Université de Liège et Institut national de recherche pédagogique.

CHEVALLARD, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

COBB, P., YAKEL, E. & McCLAIN, K. (2000). *Symbolizing and Communicating in Mathematics Classrooms. Perspectives on Discourse, Tools, and Instructional Design*. New York : Lawrence Erlbaum Associates.

CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ÉDUCATION (1997). *Le perfectionnement de la main-d'œuvre au Québec : des enjeux pour le système d'éducation*, avis au Ministre de l'Éducation et Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Science, Québec.

DUVAL, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissage intellectuels*. Berne : Peter Lang.

EMPLOI ET IMMIGRATION CANADA (1984). *Document d'étude, Formation*, Ottawa : Gouvernement du Canada.

FARGETTE, J.-P. & LATGE, G. (1985). *EAO et formation professionnelle*. Paris : Édition d'Organisation.

FERRAND, J.-L. LE GOFF, J.-P. MALGLAIVE, G. & OROFIAMMA, R. (1987). *Quelle pédagogie pour les nouvelles technologies*. Paris : Délégation à la formation professionnelle.

FORMAN, G. (1988). Making Intuitive Knowledge Explicit Through Futur Technology. In G. Forman et P.B. Pufall (Eds.). *Constructivism in the Computer Age* (pp. 83-101). Hillsdale, New Jersey : LEA.

FOURNIER, F. (1999). Auto-pH en ExAO. *Spectre*, vol. 28, Numéro thématique.

FOURNIER, F. (2002). Thèse de doctorat, Université de Montréal.

FRIEDLER NACHMLAS, R. & LINN, M.C. (1990). Learning Scientific Reasoning Skills in Microcomputer. Based Laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 2, 173-192.

GILLET, B. (1986). *Comprendre les difficultés à bien résoudre les problèmes*. Issy-les-Moulineaux : Éditions EAP.

GIROUARD, M. & NONNON, P. (1999). La lunette cognitive pour l'acquisition d'un langage graphique de codage, son influence sur l'atteinte d'objectifs terminaux des cours de physique à l'éducation des adultes. In *Actes du V^e colloque international de robotique pédagogique*. FSE, Université de Montréal.

GLASSON, G.E. (1989). The Effects of Hands-on and Teacher Demonstration Laboratory Methods on Science Achievement in Relation to Reasoning Ability and Prior Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 2, 121-131.

HOC, J.-M. (1979). L'articulation entre la description de la tâche et la caractérisation de la conduite dans l'analyse du travail. *Bulletin de Psychologie*, XXXIII, 344, 207-212.

HUDON, R. & NONNON, P. (1993). Environnement pédagogique informatisé pour la "visualisation" de systèmes technoscientifiques. In *Regards sur la robotique pédagogique. Technologies nouvelles et éducation* (pp. 173-178). Paris : Service de technologie de l'éducation de l'Université de Liège et Institut national de recherche pédagogique.

INSHAUSPÉ, P. (1998). Les programmes d'études : Essayons d'y voir clair. *Pédagogie collégiale*, 12, 1, 8-14, Montréal.

JEANTET, A. & TIGER, H. (1985). L'automatisation d'un atelier d'usinage à l'épreuve des histoires, individuelles et des savoir-faire ouvriers. *La Documentation Française*, 11, 1-23, Paris.

JOHSUA, S. & DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.

- LABONTÉ, T. (1983). *La formation de base au secteur professionnel dans l'optique de la formation des maîtres*. M.E.Q. Direction de la Recherche.
- LEINHARDT, G. (1988). Situated knowledge and expertise in teaching. In J. Calderhead (Ed.). *Teachers' professional learning* (pp. 146-168). London : Press.
- LEMERCIER, D. (1985). Intérêts et processus cognitifs d'élèves de l'enseignement technique. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 14-3, 229-252.
- LEPLAT, J. & CUNY, X. (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris : PUF.
- LEROUX, P. (1997). ROBOTTEACH, un assistant pédagogique logiciel dédié à l'alphabétisation en technologie. In *Actes du V^e colloque international de robotique pédagogique*. FSE, Université de Montréal.
- MILES, B. & HUBERMAN, A.M. (1984). *Analysis*. Beverly Hills : Sage. Qualitative Data.
- NICAUD, J.-F. & VIVET, M. (1988). Les tuteurs intelligents : réalisation et tendances de recherche. *TSI*, 1, 7.
- NONNON, P. (1986). *Acquisition d'un langage graphique de codage pour la modélisation en temps réel de données d'expérience*. Communication au 11th Psychological Mathematical Education Congress, Montréal.
- NONNON, P. & THEIL J.-P. (1990). Robot-Based Pedagogy. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2, 1, 15-20. Association for the Advancement of Computing in Education, Charlottesville, E.U.
- NONNON, P. (1993). Proposition d'un modèle de recherche de développement technologique en éducation. In *Regards sur la robotique pédagogique. Technologies nouvelles et éducation* (pp. 147-154). Paris : Service de technologie de l'éducation de l'Université de Liège et Institut national de recherche pédagogique.
- NONNON, P. (1997). Radioscopie virtuelle. In *Actes du V^e colloque international de robotique pédagogique*. FSE, Université de Montréal.
- O'BRIEN, R. M. & DICKINSON, A. M. (1982). Introduction to Industrial Behavior Modification. In R. M. O'Brien, A. M. Dickinson & M. P. Rosow (Eds.). *Industrial Behavior Modification* (pp. 7-34). New York : Pergamon Press.
- OCKO, S. & RESNICK, M. (1987). *Integrating LEGO with LOGO. Making connections with computers and children*. Cambridge : The Media Laboratory, M.I.T.
- OLSON, J.A. & REUTER, H.H. (1987). Extracting Expertise from Experts : Methods for Knowledge Acquisition. *Expert Systems*, 4, 2, 152-167.
- PAIVIO, A. (1979). *Imagery and Verbal Processes*. Hillsdale, New Jersey : Erlbaum.
- PERRENOUD, P. (1997). *Construire les compétences dès l'école*. Paris : ESF éditeur.
- PIAGET, Jean (1970). *Pour une théorie de la connaissance*, Psychologie et épistémologie. Paris : Gonthier.

- POSTIC, M. (1971). *Introduction à la pédagogie des enseignements techniques*. Paris : Les Éditions Foucher.
- RAISKY, C. & CAILLOT, M. (1996). *Au-delà des didactiques, la didactique, débat autour de concepts fédérateurs*. Paris, Bruxelles : De Boeck.
- SPERBER, D. (2000). *Meta representations. A multidisciplinary perspective*, New York : Oxford University Press.
- TANGUY, L. (Éd.) (1986). *L'introuvable relation formation/emploi : un état des recherches en France*. Paris : La Documentation Française.
- THORNTON, R. K. (1997). Learning physics concepts in the introductory course : microcomputer-based labs and interactive lecture demonstrations. In J. Wilson (Ed.). *Conference of the Introductory Physics Course* (pp. 69-86). New York : Wiley & Sons.
- TRIST, E. L. (1981). The sociotechnical perspective. In A. H. Van De Ven & W. F. Joyce (Eds.). *Perspectives on organization design and behavior*. New York : John Wiley & Sons.
- VIVET, M. (1981). Apprentissage autonome, sur un usage de la technologie informatique dans l'éducation, Annexe du rapport Simon, *l'Éducation et l'Informatisation de la Société* (pp. 201-210). Paris : La documentation française.
- VIVET, M. (1989). Robotique pédagogique ! Soit, mais pour enseigner quoi ? In *Actes du premier congrès francophone de robotique pédagogique*. Université du Maine, Le Mans.
- VYGOTSKY, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, Ma. : Harvard University Press.