

L'EXAO : une boîte à outils didactiques pour faciliter l'acquisition des compétences en science et technologie / Dr Pierre Nonnon. — Extrait de : Annales de philosophie et des sciences humaines. — N° 16 (2004), pp. 63-70.

Titre de couverture : Annales de philosophie et des sciences humaines. — Bibliogr.

I. Technologie éducative. II. Ordinateurs.

PER L1044 / FP209048P

L'EXAO : UNE BOÎTE À OUTILS DIDACTIQUES POUR FACILITER L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Pierre Nonnon, PhD

*Laboratoire de robotique pédagogique
Département de didactique - Université de Montréal*

INTRODUCTION

Dans cet article nous allons exposer les différentes utilisations de l'ordinateur comme outil de laboratoire et montrer son utilité pour susciter une démarche d'investigation scientifique propice au développement d'une structure de pensée formelle, et au raisonnement scientifique. Après une brève description de l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO), nous présenterons les derniers développements, réalisés dans notre laboratoire, qui sont axés sur la multidisciplinarité et la nécessité d'intégrer les mathématiques, les sciences et la technologie. Pour ce faire, nous présenterons un environnement informatisé d'apprentissage en laboratoire, sollicitant le recours aux graphiques et à l'algèbre, un environnement de technologie et de sciences expérimentales apte à faire émerger des compétences. Nous proposerons aussi des stratégies pour illustrer, avec cet environnement, l'intégration des mathématiques et des sciences ainsi que l'intégration des sciences et de la technologie.

1. PROBLÉMATIQUE

La plupart des nouveaux curriculums en sciences et technologie ont pris une orientation résolument constructiviste qui donne une place prépondérante à la construction progressive des savoirs par l'élève. Cette orientation veut minimiser, voire même bannir, l'approche magistrale, pour laisser aux élèves plus d'initiative dans l'apprentissage en leur permettant d'utiliser et de développer les savoir-faire et les outils cognitifs nécessaires pour s'approprier eux-mêmes les connaissances en sciences et technologie. (Orpwood et Souque (1984))

Les discours officiels se résument trop souvent à un plaidoyer sur le constructivisme et l'apprentissage par compétence. Ils nous renseignent peu sur l'organisation didactique qu'il va falloir donner à cette orientation pour la rendre opérationnelle avec les étudiants et les professeurs. La mise en œuvre de ces nouveaux programmes en sciences et technologie ne pourra se résoudre en préconisant une approche socioconstructiviste, par exemple en inversant le processus déductif-inductif, et en ajoutant simplement quelques chapitres sur la technologie. Il faudrait plutôt décrire comment cela va s'intégrer et s'organiser avec des élèves et fournir un modèle d'action détaillé avec des exemples concrets d'activités comprenant l'ensemble des savoir-faire expérimentaux, des outils cognitifs et intégrant les différents contenus, maths, physique, chimie, biologie et technologie.

2. PROPOSITION D'UN MODÈLE D'ACTION DANS UN ENVIRONNEMENT INFORMATISÉ D'APPRENTISSAGE

Les compétences en sciences ne s'apprennent pas en tant que telles, elles émergent d'un contexte où l'étudiant doit s'investir dans la recherche du sens, de la cohérence et des savoirs. Cette compétence ayant pour principale finalité la prédiction. En sciences expérimentales, cette compétence émerge de l'action d'observer un phénomène pour le comprendre. L'apprenant doit alors identifier les variables en interaction, les isoler, et provoquer cette interaction en organisant un schème de contrôle des différentes variables pour faire apparaître une relation de causalité. Ces savoir-faire se développeront ici dans un environnement d'apprentissage où l'action et l'initiative de l'étudiant seront privilégiées et facilitées par un ordinateur agissant comme outil de laboratoire (Nonnon ; Métioui, 2003).

3. L'EXAO

Nous allons ici, en décrivant ce qu'est l'ExAO, montrer comment cet environnement rend réaliste l'approche constructiviste et l'apprentissage par compétences.

Cet environnement est composé d'un ordinateur, d'une interface, de capteurs et d'un logiciel généraliste permettant de mettre en œuvre rapidement des Expérimentations de laboratoire réelles.

L'ExAO a été développée au Québec en 1971, (Pouliot 1999) il s'agissait alors de contrôler des expériences traditionnelles de laboratoire au premier cycle universitaire à l'aide d'un mini-ordinateur. À chaque expérience correspondait un programme spécifique, les paramètres expérimentaux étaient programmés par l'étudiant et l'expérience était alors entièrement contrôlée par l'Ordinateur (Nonnon ; laurencelle 1972). Cet appareil robot recueillait les données, pour le bénéfice de l'étudiant, et celles-ci étaient analysées en temps différé par l'ordinateur. De 1977 à 1988, avec l'arrivée de micro-ordinateurs comme les Apple II, les commodores 64 et les TRS 80, les développements didactiques devenant plus réalistes pour les enseignements secondaires et collégiaux, nous avons bénéficié d'un appui ministériel important pour la R&D afin de développer des activités en physiologie, en psychophysiologie et en physique dans un laboratoire de sciences intégrées comme le gymnase scientifique (Nonnon ; Laurencelle 1984).

Bien que nous en soyons les précurseurs, l'ExAO n'a eu aucune incidence tangible dans l'enseignement des sciences au Canada (Nonnon 2002), alors qu'en Europe celle-ci s'est largement implantée dans la plupart des réseaux scolaires, notamment en France (Beaufils, 1993) où elle a bénéficié de l'appui de l'inspection générale avec la mise sur pied d'un programme national qui a généralisé son utilisation dans toutes les académies, dans tous les lycées et dans tous les collèges (Marchand, 1997). Ce développement qui incluait la formation des professeurs s'est réalisé en collaboration avec le groupe Évariste associé au Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) et avec l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP) et le Centre National de Développement Pédagogique (CNDP) (Nonnon et Laurencelle 1984. Nonnon 1989). C'est en 1990 que l'équipe du Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris, avec notamment Guy Lefebvre, Frédéric Surdillat, Christian Rellier et Laurent

Poittevin de la société Micrelec, mettait au point le système ORPHY portable qui ouvrait la voie à la conception didactique. Ce système ouvert d'ExAO (voir Nonnon 1999) se comportait comme un système auteur, il permettait aux enseignants de ne plus se contenter de réaliser des expériences préétablies, mais de concevoir et construire eux-mêmes, sans aucune connaissance en informatique et en électronique, leurs propres activités de laboratoire en sciences expérimentales. Le principal objectif aujourd'hui va être d'ouvrir cette boîte à outils didactiques à la conception et à la réalisation par l'étudiant d'expériences qui répondent à ses propres questions.

Un système d'ExAO est un environnement d'apprentissage composé d'un micro-ordinateur dans ses fonctions conversationnelle et graphique et un microcontrôleur dans sa fonction de contrôle de procédés. Les deux étant reliés par une voie série, RS232 ou USB. Un programme réalisé dans un langage évolué permet à l'apprenant de configurer facilement son expérience sur l'écran du micro-ordinateur. En plaçant les capteurs sur le microcontrôleur, le programme les reconnaîtra automatiquement et ajustera aussi automatiquement chaque échelle de mesure en fonction des caractéristiques de chaque capteur. Il pourra alors visualiser chaque variable sur un vumètre, observer son évolution sur un graphique en fonction du temps ou visualiser l'effet de n'importe quelle variable sur une autre.

4. L'INTÉGRATION DES MATHÉMATIQUES ET DES SCIENCES

La possibilité de présenter en temps réel les données expérimentales sous forme graphique nous a permis de donner une dimension cognitive nouvelle et intéressante aux expérimentations de laboratoire (Nonnon, Laurencelle, 1972 ; Brasell, 1987). En effet, grâce à la possibilité d'un ordinateur de réagir en temps réel, on permettait à un élève de visualiser en même temps le phénomène et une représentation figurative abstraite de celui-ci. Il devenait imaginable alors d'appréhender l'abstrait par le concret puisqu'on pouvait étudier en même temps l'évolution du phénomène réel à l'étude et une représentation graphique de celui-ci.

C'est ce processus d'apprentissage de l'abstraction que nous avons décrit par la métaphore de la lunette cognitive (Nonnon 1985). Le concept de lunette cognitive permet d'analyser une situation où l'on dispose simultanément d'un objet physique réel sur lequel on agit et de

représentations formelles, graphiques et dynamiques des interactions sur celui-ci.

Ce passage direct du phénomène au graphique, sans passer par l'algèbre nous a permis d'envisager une nouvelle approche plus sensible, plus intuitive, mais néanmoins aussi rigoureuse de la modélisation mathématique en sciences. On pouvait alors prédire directement les réactions d'une variable sous l'effet d'une autre sans passer par l'algèbre, par interpolation, extrapolation, variation de pente avec le graphique obtenu directement de l'expérience. Cette étape préalable d'analyse pouvant se compléter par une modélisation algébrique en ajustant progressivement les paramètres d'une équation sur le tracé graphique de l'expérience. De plus, en plaçant ces données dans un tableau, on peut directement les transférer vers un tableur comme EXCEL ou REGRESSI pour en faire une analyse à posteriori plus détaillée. Les nouveaux développements réalisés avec Georges Touma porteront sur un recours plus intense au raisonnement graphique, sur l'utilisation de résultats préalables décrits de manière algébrique comme des capteurs virtuels qui s'intégreront dans de nouvelles expériences, permettant ainsi une analyse en temps réel de l'effet de l'interaction de ces variables traditionnellement déduites et analysées à posteriori.

5. L'INTÉGRATION DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Le fossé qui a été créé entre les sciences et la technologie dans nos écoles québécoises par l'introduction des cours d'initiation à la technologie et d'éducation technologique n'a pas favorisé leur intégration. Les professeurs des deux disciplines ont plutôt développé une argumentation et des pratiques spécifiques à chacune d'elles, ce qui a favorisé leur division au détriment de leur intégration. Par contre, en permettant à ces deux groupes d'enseignants de concevoir des expérimentations en ExAO, où l'instrumentation technologique de laboratoire serait aussi objet d'apprentissage, on créerait ainsi un environnement didactique suffisamment riche et significatif pour rendre évidente et cohérente cette intégration (Nonnon 2002). Frédéric Fournier (2003), dans mon laboratoire, a travaillé pour sa thèse de doctorat, à montrer que la conception et la construction technologique de capteurs est aussi une activité scientifique en soi qui nécessite la mise en évidence et/ou l'utilisation d'un principe physique, comme par exemple la dilatation ou l'effet photo-résistif, pour construire un thermomètre. Ce type d'activité est bien adapté à l'intégration de la technologie dans le curriculum scientifique

puisque'il faut pressentir, comme en science expérimentale, une relation de causalité entre deux variables, concevoir et construire techniquement un système de mesure avec capteur avant de formaliser par l'expérimentation la relation entre les deux variables sous forme graphique ou mathématique (modélisation). Par exemple concevoir un thermomètre avec un thermistor oblige l'élève à étudier la relation entre la variation de température (variable cible) et la variation de résistance (variable de mesure). Il doit alors traverser toutes les étapes de la démarche expérimentale (Hypothèse, schème de contrôle des variables, interprétation etc.). Il devra de plus modéliser cette relation, non pas se contenter de la formaliser par une équation, mais utiliser celle-ci pour traduire la variation du voltage lue par l'ordinateur en variation de température ($T=f(V)$). Ici, il n'est plus seulement question d'identifier et de lui donner les connaissances préalables en mathématiques et en sciences expérimentales, avant la réalisation de son projet, puisque celles-ci seront intégrées dans la démarche globale et se présenteront à lui comme un besoin à acquérir pour pouvoir progresser dans la conception et la construction d'un objet technique. Par cette activité, nous devrions le convaincre de l'intérêt de cette approche qui rend nécessaires et convaincants des savoirs et savoir-faire en mathématiques et en sciences expérimentales pour entreprendre un projet en technologie. Par cette approche, nous abordons les sciences par la technologie, nous formons ainsi de jeunes ingénieurs avant d'en faire de jeunes savants.

CONCLUSION

La réforme des programmes de science et technologie axée sur une approche constructiviste, une intégration des matières et un apprentissage par compétence telle que proposée dans la plupart des pays occidentaux ne peut, selon nous, se concevoir sans une formation didactique préalable des enseignants vis-à-vis de l'approche intégrée et inductive sous-jacente à l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO).

L'acquisition d'un langage de codage graphique signifiant (Girouard 1994) devrait faire de ce langage un outil cognitif utile et disponible à l'étudiant pour appréhender de nouvelles connaissances (Nonnon 1984)

En conservant à l'ExAO son rôle d'aide à l'apprentissage scientifique, nous voulons en plus, en intégrant des activités de construction de capteurs et d'effecteurs, en faire un objet technologique d'apprentissage. En lui

conférant ainsi cette double fonction, nous avons créé un environnement didactique pour un apprentissage intégré des sciences et de la technologie.

Nous ne pourrions réussir ce changement de paradigme, c'est-à-dire passer d'un enseignement magistral à un apprentissage par compétence, sans la complicité des enseignants, sans les outiller et les former au plan technique et didactique, pour qu'ils s'approprient cet outil cognitif qu'est l'ExAO qui les assistera et les aidera à concevoir et à construire, eux-mêmes, des activités d'apprentissage qui engageront leurs étudiants dans une véritable démarche d'investigation tant sur le plan technique que scientifique. l'ExAO sera alors une boîte à outils didactiques qui permettra de concevoir, de construire et de mettre en œuvre rapidement des activités d'apprentissage en science expérimentale et en technologie.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUFILS, D. (1993), *L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : propositions et implications didactiques*, Didaskalia n° 1, INRP, Paris, p. 123-130.
- BRASELL, H. (1987), *The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity*, Journal of research in science teaching, 24(4), p 385-395.
- GIROUARD, M. (1994). *La « lunette cognitive » pour l'acquisition du langage graphique*, Thèse de doctorat, département de didactique, Université de Montréal.
- MARCHAND, D (1997), *Actes du 5^e colloque international de Robotique pédagogique*, Université de Montréal.
- NONNON, P., MÉTIOUI, A (2003), *L'appropriation du processus de vérification expérimentale par des étudiants en formation des maîtres au secondaire*, RES académica volume 21, n° 1, p 39-62.
- NONNON, P (2002), *Robotique pédagogique en enseignement professionnel*, Sciences, techniques et pratiques professionnelles, Aster N° 34. INRP Paris.
- NONNON, P. (2002), *Considérations sur la recherche de développement en éducation : Le cas de l'EXAO. Perspectives de recherches, problématiques et questions vives*, Actes du Symposium international francophone. sur les technologies informatiques en éducation publiés sous la responsabilité de Georges-Louis Baron et Éric Bruillard : 31 janvier - 1^{er} février 2002 (7 pages).
- NONNON, P. (1985). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*, Université de Montréal, Faculté des sciences de l'éducation.
- NONNON, P., Laurencelle, L. (1984), *L'appariteur-robot et la pédagogie des disciplines expérimentales*, Spectre, 1984, p. 34-36.
- ORPWOOD, G.W.F., Souque, J.P. (1984 b), *L'enseignement des sciences dans les écoles canadienne. Introduction et analyse des programmes d'études*, Conseil des sciences du Canada, Étude de documentation, 52,1.