

TIC et enseignement de la Chimie : au-delà des discours, quels dispositifs d'enseignement pour quels apprentissages?

MARIE-THÉRÈSE SALIBA¹, NAIM OUAINI¹, JACQUES GINESTIÉ²,
PIERRE NONNON³

¹ Faculté des Sciences
Université Saint Esprit de Kaslik
Liban
marietheresesaliba@usek.edu.lb
naimouaini@usek.edu.lb

² IUFM Aix-Marseille
Aix-Marseille Université
France
jacques.ginestie@univ-amu.fr

³ Faculté des Sciences de l'Éducation
Laboratoire de Robotique Pédagogique
Université de Montréal
Canada
pierre.nonnon@umontreal.ca

RÉSUMÉ

Dans cette recherche nous proposons de profiter des possibilités offertes par les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) pour l'enseignement de la chimie. Cette démarche d'investigation technoscientifique est concrétisée via un laboratoire d'ExAO (Expérimentations Assistées par Ordinateur) où l'ordinateur est un outil d'apprentissage qui sollicitera en temps réel des observations concrètes, des savoir-faire expérimentaux et l'utilisation de représentations abstraites pour résoudre des problèmes. Pour ce faire, nous avons introduit des cours innovés en Didactique axés sur les TICs/ExAO à nos programmes de Master à l'Université Saint-Esprit de Kaslik (USEK). Ces cours sont destinés à la formation initiale et continue de nos étudiant-maitres en mathématiques et en sciences et technologie. Par la suite, nos étudiant-maitres

utiliseront l'ExAO avec leurs élèves en classes secondaires pour l'enseignement de la chimie afin de tester et valider l'aspect fonctionnel de l'environnement d'ExAO proposé. La validation didactique de ce paradigme, se fonde sur une confrontation entre une analyse réalisée à priori et des constats effectués à posteriori afin de mesurer l'écart de compréhension que les élèves ont acquis.

MOTS-CLÉS

Chimie, ExAO, Ingénierie didactique, formation des maitres, classes secondaires

ABSTRACT

In this research we suggest to take advantage of the opportunities offered by the new information and communication technologies (NICT). This new technoscientific process of investigation will be realized via a laboratory of CAE (Computer assisted experimentations) where the computer is the learning tool that seeks in real time concrete observations. Experimental know-how, and the using of abstract representations to solve problems. To do this, we have introduced innovated courses in Didactics based on ICT/CAE in our Masters programs in the Holy Spirit University of Kaslik (USEK). These courses are intended for initial and continuous training of our student-teachers in mathematics and science and technology. Subsequently, our student-teachers will use CAE with their students in high schools for teaching chemistry to test and validate the functional aspect of the environment CAE proposed. The educational validation of this paradigm will be based on the confrontation between a priori analysis and subsequent findings to measure the gap of understanding that students have acquired.

KEYWORDS

Chemistry, CAE, teachers' training, didactic engineering, high schools

PRÉAMBULE

La plupart des rapports sur la formation des jeunes nous exhibent que la segmentation historique qui existe entre la formation scientifique et technologique n'est plus souhaitable pour la formation des jeunes OCDE (OCDE, 2008), UNESCO (UNESCO, 1999, 2008). Tous les curricula, à tendance constructiviste, proposent leur intégration MELS (MELS, 2006).

À la suite d'un panorama des différentes propositions du contexte pour mettre en pratique les orientations de la réforme en science et technologie, force est de

constater que les ressources proposées aux enseignants, quoique refondues dans l'esprit constructiviste, souffrent d'un déficit dans l'intégration concrète de ces deux domaines de connaissances. Les causes de cette situation sont, à notre avis, plus doctrinaires que pédagogiques. Il faut proposer un nouveau moyen didactique pour intégrer en un tout cohérent, et surtout convaincant, ces deux domaines de connaissances.

Cette prise de conscience se traduit actuellement dans les directives officielles par une volonté claire d'envisager une démarche d'enseignement adaptée à la transmutation de la technologie et des sciences afin de former des futurs bacheliers conscients des enjeux technoscientifiques dont ils feront une partie prenante.

À la lecture des ouvrages sur l'enseignement de la chimie, nous remarquons que la plupart des scénarios pédao-didactiques sont de nature prescriptive : Les anciennes épistémologues pensent que l'élève doit tout apprendre avant de passer aux laboratoires, les nouveaux épistémologues affirment qu'il est capable de découvrir lui-même les réalités physiques par le simple fait d'être mis en situation. De plus, la tradition prescriptive dans le curricula scolaire en chimie traduit par une exagération d'un mode de transmission dogmatique où l'important est de mémoriser la loi ou le principe, renforcé par des évaluations organisées sur des exercices d'application qui pourront renvoyer à un échec scolaire.

Dans les dernières instructions officielles, l'apprentissage actif par l'investigation scientifique et la découverte est conseillé : Il s'agit d'une démarche expérimentale où les élèves sont traités en sujet intentionnels, et où, ils sont responsables de leur propre formation.

L'avènement de l'ExAO, d'après Nonnon (2007) : « *Permet aux étudiants de traverser rapidement toutes les étapes de la démarche expérimentale. Elle favorise ainsi l'investigation scientifique aussi bien en physique, chimie, biologie ou technologie* ». Les usages pédagogiques de l'ExAO impliquent une rupture avec la conception classique des laboratoires de Chimie, essentiellement centrée sur l'enseignant pour s'orienter vers une pédagogie plus centrée sur l'apprenant (Marcotte, 2004). L'ExAO s'inscrit théoriquement dans le cadre de la théorie du double codage de Paivio (1986). Elles permettent à l'élève d'appréhender simultanément le phénomène réel et la représentation graphique de celui-ci (Brasel, 1987; Nonnon, 1997, 2003, 2008; Beaufils, 2000).

CONTEXTE ? PROBLÉMATIQUE DE LA RECHERCHE

Contexte

Le Liban se situe au Sud Ouest de l'Asie sur le littoral Est de la Méditerranée. Bien que petit, le Liban, par sa situation géographique, est considéré comme le « pont entre

l'orient et l'occident ». Cette place privilégiée, étayée de la singularité de la société libanaise, permet aisément de le considérer comme le lieu de rencontre entre les cultures et les civilisations.

À l'ère de la mondialisation, l'évaluation de la qualité de l'enseignement et de la formation scientifique doit permettre ainsi au Liban d'éclairer les choix à opérer dans l'avenir, en proposant des pistes de réflexion sur l'apport « enseignement/ méthode d'éducation ». L'évolution de l'éducation scientifique au Liban constitue un impérieux besoin national, pour rejoindre les efforts de nombreux pays du monde qui se préoccupent de la rénovation de l'éducation surtout technoscientifique et professionnelle.

Problématique

Le développement frénétique de la technologie et de l'informatique dans notre époque considérée en « ère de la nano-technologie », met en relief la place de la technologie et de l'informatique dans l'éducation contemporaine. Le philosophe Lévy (1994, 1995) interprété par Jacob (1997) agrège à ces évolutions une « *cyberculture* » renversante et houleuse, un tsunami qui bouleverse nos attitudes, canalise nos besoins et crée de nouvelles exigences. L'enseignement de la chimie ne peut pas se tenir à l'écart de ces mutations. Cependant le développement est confronté à une difficulté majeure qui suppose de gérer un paradoxe : comment organiser un enseignement modernisé de la chimie qui repose sur la modélisation informatique et la formation de principes qui de faits deviennent abstraits et donc peu accessibles.

En chimie, pour renforcer l'impact d'un processus pour lequel il est possible d'apprécier la portée, l'efficacité et le rendement de l'« enseignement/apprentissage », il faudra passer d'une pédagogie axée sur l'enseignement par le maître (Smith & Cardacioto, 2011) à une pédagogie axée sur l'apprentissage et l'appropriation des savoirs par l'élève (Giardina, Depover & Marton, 1998), un choix pédago-didactique tangible basé sur une situation problème au laboratoire informatisé, paraît-il le plus favorable (Saliba, 2011).

En effet, les connaissances en physique, biologie, chimie et mathématiques se font en classe conformément à un cours fondamental supplémenté d'exercices d'application, en revanche, pour que ses savoirs soient acquises, ils devront se faire dans un laboratoire : En sciences, le discours n'est pas suffisant pour développer l'esprit scientifique, il faut permettre aux apprenants de construire leurs connaissances en répondant à leurs propres questionnements et en validant leurs propres hypothèses et préventions dans une situation réelle au laboratoire (Kolb & Fry, 1975).

Cependant, les évolutions des systèmes éducationnels butent sur les pénuries et la disparité des conceptions épistémologiques et des actes didactiques dans l'apprentissage de la chimie du collège à l'université. Cette carence pourra détruire les

transpositions des savoirs et leur intégration pertinente dans la formation professionnelle de nos jeunes.

D'autre part, nous remarquons une faillite de l'approche dite OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérimentation, Résultat, Interprétation, Conclusion) qui n'est qu'une construction scolaire d'une imagerie de ce que serait la méthode scientifique idéalisée. S'ajoute à ces problèmes la désaffection des sciences qui marque la rupture entre l'enseignement des sciences fondé sur l'acquisition des lois (expliquer les lois et les mécanismes qui régissent notre univers) et l'éducation scientifique fondée sur la compréhension du monde dans lequel nous vivons (Ginestié, 1999). Quoique, la pédagogie active préconise un contexte heuristique afin d'organiser les acquisitions des élèves, il faudrait se montrer vigilant de critiquer ce cadre pragmatique en le comparant à une situation fondamentale qui, de l'avis de Brousseau (2003) : « *N'est pas a priori une situation idéale pour l'enseignement, ni même une solution plus efficace* ».

Nous allons, dans le paragraphe qui suit, étaler une anthologie d'approches didactiques en sciences afin d'en tirer, ce qui nous semble pertinent et adapté à l'enseignement de chimie dans notre environnement socio-culturel.

L'ÉVOLUTION DES APPROCHES EN DIDACTIQUE DES SCIENCES

« Dans les pays industrialisés, l'unification des cursus scolaires et la différenciation des programmes en objectifs ont connu une grande popularité au cours des dernières décennies, mais nos élèves ont de la difficulté à tisser des liens entre les contenus disciplinaires, entre les stratégies utilisées en classe ou même entre des situations présentées à l'école et leurs activités quotidiennes (Cahiers Pédagogiques, N°408 - dossier "Savoir, c'est pouvoir transférer?").

Par contre, pour une stratégie interdisciplinaire, les matières traditionnellement séparées par la fragmentation et le cloisonnement des curriculums, pourront être associées et rassemblées : les formateurs réunissent deux ou plusieurs matières dans l'exploration en laboratoire informatisé d'un problème authentique découlant de leur préoccupation, tout en considérant l'environnement spécifique de cet apprentissage (niveau d'éducation des élèves, matériel disponible, instruments, documents, organisation, disponibilité des formateurs,.....). Cette situation qui organise les conditions pourra se matérialiser via un environnement informatisé au laboratoire en ExAO.

En liminaire de la vulgarisation de l'enseignement des sciences, une professionnalisation du cursus scolaire en coordination avec le développement de la nano-électronique et de la micro-informatique devra former des jeunes scientifiques en synchronisation avec leur monde modernisé et renforcer leur socle de compétences. En ces années de mutation frénétique en technologique, un

apprentissage moderne scientifique s'impose pour élever le niveau d'éducation scientifique de nos jeunes, accroître leur culture et préformer des scientifiques dotés de compétences socio-professionnelles.

Une taxinomie récente d'épistémologies adoptées dans l'enseignement des sciences.

Les épistémologies des années 70 optaient pour la méthode expérimentale qui se voulait nettement scientifique. Nettement, Halbwachs (1975) avançait que : « *La didactique doit dépasser les simples recettes empiriques qui surgissent de l'activité quotidienne des enseignants en lui conférant le statut de science fondamentale* ». Pour la majorité des didacticiens en sciences de cette décennie, reformuler des savoirs déclaratifs ne dégage pas forcément un apprentissage approprié, c'est la conceptualisation de ses savoirs dans un discours empirique qui leur accorde un impact congruent de compréhension (Nonnon, Laurencelle, & Joyal, 1972; Gonod, 1972; Halbwachs, 1975; Gagne, 1976).

Cette doctrine de « *fonctionnalisme : learning by doing* » a été fondée par John Dewey¹ empruntée et élaborée par William James et Clark Hull². Il s'agit d'une « *recherche-action* » en mode déductif qui consiste à discerner les variables indépendantes et les variables qui en dépendent et à exprimer sous forme d'équation le lien entre ces variables [$V_{\text{dépendante}} = f(V_{\text{indépendante}})$]. Les aboutissements heuristiques pourront valider ou falsifier l'hypothèse théorique à priori. Plusieurs obstacles se manifestaient et confrontaient ces didacticiens: Les variables indépendantes et dépendantes ne sont pas facilement discriminées, leurs comportements dépendent de plusieurs facteurs à considérer et leurs interactions ne sont pas toujours contrôlables ou prédicts.

Au cours des années 80, deux paradigmes rationnels étaient élaborées : le premier était « l'ingénierie didactique » d'Artigue (1990), le second « la didactique systémique » de Brousseau (1986). L'ingénierie didactique s'apparente à la recherche hypothético-expérimentale qui, afin de valider une hypothèse affronte l'analyse à priori à l'analyse à postériori pour en tirer un éclairant. En revanche, la didactique systémique se base sur trois socles : La situation didactique (apprenant-savoir-enseignant), le phénomène réel à étudier et la modélisation de ce phénomène afin de le conceptualiser. Ces deux scénarios didactiques se fondent sur : L'apprenant et la situation. Leurs corollaires, bien qu'appropriés avec l'environnement particulier, pourront ne pas être forcément systémiques.

Au cours des années 90, le paradigme didactique reposé sur l'expérience, avouait que la situation heuristique n'est pas rigide, elle se présente complexe, évolutive et intégrative aussi bien que les compétences qui s'y ancrent. Une nouvelle méthodologie

1 Expérience et éducation (Experience and education, 1938), trad. M.-A. Carroi, Paris, Bourrelier, 1947 ; nouv. éd., Armand Colin.

2 <http://www.fse.ulaval.ca/chrd/Theories.app/historiq.htm>

expérimentale fut largement adoptée : celle qui s'adhère aux conduites des apprenants et prohibe un protocole ferme à appliquer dans des situations disparates. « *Briser le paradigme : enseignement homogène pour une classe hétérogène* » (Boudreault, 2003). D'après Nonnon (1997), fondateur de l'ExAO, les élèves dans les situations en ExAO sont libres de concevoir et de concrétiser leur propre protocole. Pour cet auteur, il s'agit de trouver une adéquation entre l'outil de formation en regard de son contexte particulier de formation. Sélectionner une approche pédao-didactique, la développer et l'appliquer, n'a vain de facile surtout pour l'acteur animé d'un souci de congruence, d'efficacité et de réalisme.

Dans cette étude nous optons pour les dernières épistémologies citées : celle de Brousseau en situation de laboratoire informatisé d'ExAO qui sera validé par la méthode d'ingénierie didactique d'Artigue.

CHOIX ÉPISTÉMOLOGIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE

Nous proposons d'adopter des outils informatisés propres aux sciences expérimentales comme la robotique pédagogique et l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) (Nonnon, 1997). Ces outils cognitifs devraient nous permettre un apprentissage plus concret et plus sensible de l'abstraction (la compréhension du langage de codage graphique et de la modélisation algébrique des phénomènes réels) (Touma, 2006).

Dans cette recherche, en adoptant ExAO pour l'apprentissage en chimie, nous appuyons les choix méthodologiques qui favorisent l'auto construction des connaissances en incitant les apprenants à interagir pour progresser le savoir individuel versus Piaget (1969), le savoir collectif (socio-construction) versus Vygotski (1997) : en sollicitant les prises des notes, les consultations des référentiels et en s'appuyant sur les expériences antérieures et le partage de savoirs (Marcotte, 2004). Dans l'objectif de créer de nouveaux apports entre enseignement et apprentissage, nous optons d'englober différents concepts liés à l'apprentissage tels l'approche constructiviste et socio-constructivisme, la pédagogie de projets, l'apprentissage collaboratif et l'apprentissage par analogie.

Nonnon et Riopel (Nonnon, 1997) situent leur approche à deux niveaux :

- La technologie éducationnelle (Robotique pédagogique) pour le développement et l'innovation technologique.
- La didactique pour la conception des environnements d'apprentissage (ExAO) dans lequel notre recherche est inscrite.

Nous allons dans ce texte situer notre propos en prenant en considération un cadre propre à l'enseignement de la chimie en classes secondaires.

Notre choix de technologie éducative : l'ExAO

Dans l'objectif de passer de l'état du discours sur les nouveaux paradigmes et stratégies d'apprentissage à une exécution tangible et effective, nous avons réformé nos programmes de Master pour la formation des maîtres en mathématiques, en sciences et technologie à l'Université Saint-Esprit de Kaslik (USEK). Pour ce faire, nous avons introduit des cours innovés en Didactique axés sur les TICs en profitant des pays occidentaux innovateurs dans ce domaine. Un nouveau scénario pédagogique congruent et réaliste pour la didactique des sciences et de la technologie a été développé et appliqué à l'Université de Montréal, pour la formation initiale et continue des maîtres, des moniteurs et des élèves : Depuis 1972, un micro-laboratoire informatisé d'apprentissage pour les mathématiques, les sciences et la technologie (ExAO) où l'ordinateur, outil de laboratoire, permet d'appréhender en même temps le phénomène réel en synchronisation avec sa représentation abstraite.

Cadre théorique et mode de fonctionnement de l'ExAO

L'animation virtuelle en ExAO est une extension du concept didactique « *le double codage* » de Paivio que Nonnon (1997) a explicité par la métaphore de la « *lunette cognitive* ». L'ExAO est une vraie « *radioscopie virtuelle* » (Nonnon, 1999) qui intègre l'abstrait et le réel. La lunette cognitive est un concept didactique, une explicitation métaphorique du procédé qui permet de visualiser en temps réel le déroulement d'une expérience et la représentation graphique des données expérimentales de celle-ci.

En effet, la plupart des élèves n'ont pas suffisamment approprié le langage de codage graphique pour s'en servir comme outil leur permettant de s'expliquer un phénomène aussi simple que l'interaction entre deux variables. Les phénomènes réels sont assimilés par les élèves durant des activités de laboratoire, tandis que leurs représentations symboliques sont enseignées en mathématiques, ce qui ne favorise pas l'enjeu de leur corrélation.

Le procédé de la lunette cognitive leur permet de rendre cette représentation signifiante et utile pour appréhender non seulement le phénomène à l'étude mais aussi pour transférer l'utilisation de l'outil cognitif qu'est le graphique sur d'autres phénomènes plus abstraits comme par exemple la loi d'Ohm en électricité (Girouard & Nonnon, 1999). Ainsi, dans un premier temps, le phénomène réel est utilisé pour rendre signifiante la représentation graphique de manière à ce que dans un second temps le graphique devienne utile pour appréhender le phénomène physique. C'est une « *gymnase scientifique* » (Nonnon, 1997) permettant de réaliser une double connexion didactique entre d'une part, le phénomène réel et sa représentation graphique, et d'autre part, entre cette représentation et son équation algébrique. Cette façon d'apprendre l'abstrait à partir du concret permet à l'élève de donner un sens aux représentations graphiques qu'il a pu étudier en mathématiques (Figure 1).

FIGURE 1



La lunette cognitive de Nonnon interprétée par Touma (Touma, 2006)

Les aspects didactiques et théoriques de la lunette cognitive se fondent sur:

- La théorie de double codage de Paivio (1986) qui définit les activités psychologiques des individus par l'utilisation de deux systèmes de codage de l'information, un système de représentation imagée qui procède à partir d'expériences concrètes et un système de représentation symbolique qui procède de manière abstraite.
- La théorie de « l'inférence figurative » de Richard (2000) qui apparaîtrait comme un espace intermédiaire et explicite la réalité phénoménale en modèles étudiés en cours de mathématiques.
- Les théories de l'information : stipulent que la capacité de résolution de problème est accrue lorsque l'on diminue les activités mnésiques de la mémoire. La capacité de résolution est inversement proportionnelle aux activités mnésiques de la mémoire.

En effet, Mokros et Tinker (1987) ont montré qu'un délai entre l'événement et sa représentation graphique est néfaste pour la compréhension du graphique. Leurs études montrent très clairement que la manière traditionnelle de réaliser des expériences en laboratoire en accumulant des données expérimentales pour, par la suite, les transcrire sous forme graphique peut ne pas être efficace et ne permet pas à l'élève de relier les données de l'expérience avec le graphique. Mokros l'explique essentiellement par l'utilisation de la mémoire : « Lorsque les données n'apparaissent pas simultanément aux mesures, l'élève doit, pour pouvoir établir la relation entre les données de l'expérimentation et leur représentation, se remémorer l'expérience puis la relier aux données. Cette étape supplémentaire monopolise sa mémoire à court terme et ne permet donc pas un transfert correct entre la donnée et sa représentation ». Cette synchronisation de l'expérimentation et de ses résultats est une caractéristique typique de l'ExAO ; l'expérience est réelle, ses résultats sont automatiquement affichés et modélisés.

Goupil et Lusignan (1993) rejoignent Mokros et Paivio en insistant sur le rôle de la mémoire dans l'apprentissage, ils énonçaient que la structure cognitive se met en place par :

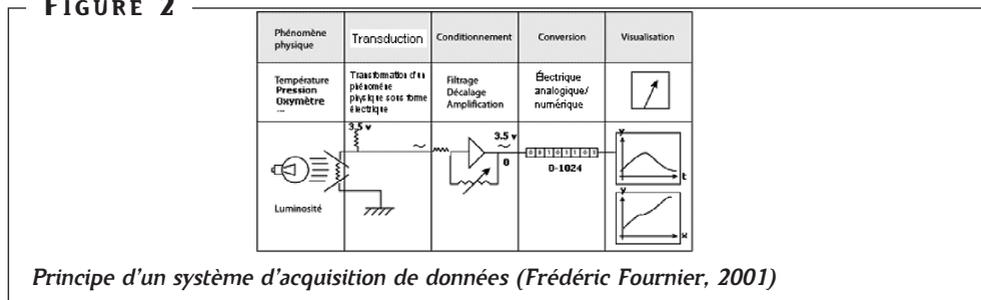
1. La notion de connaissances antérieures.
2. Les processus qui font appel aux récepteurs sensoriels et aux diverses formes de la mémoire : mémoire à court et long terme.
3. Une organisation hiérarchique des connaissances s'effectue au niveau de la structure cognitive.

Dans le prochain paragraphe, nous allons décrire l'ExAO, notre environnement informatisé d'apprentissage, ayant un caractère généraliste en ce sens qu'il permet à l'élève de réaliser des expériences selon ses propres prévisions et hypothèses, aussi bien en physique, qu'en chimie, qu'en biologie ou technologie. Mais auparavant nous allons décrire comment fonctionne une chaîne d'acquisition de données puisque c'est cette technologie, utilisée à des fins pédagogique, qui est la base de l'ExAO.

Instruments de communication pédagogique : ExAO

Avec l'influence des paradigmes constructiviste, socio-constructiviste et connectiviste, les recherches et développements se sont clairement tournés vers de nouvelles technologies de l'information et de la communication qui donnent à l'élève plus d'autonomie dans l'acquisition de ses connaissances. L'ExAO en est un accomplissement tactile de ces NTIC, il permet de réaliser des expériences scientifiques réelles avec l'aide d'un ordinateur, muni de logiciels de visualisation et de traitements de données, connecté à une interface électronique d'acquisition de données et de capteurs. L'ExAO permet la réalisation rapide et précise d'expérimentations scientifiques en physique, chimie, biologie ou technologie. L'interface est connectée à l'ordinateur par une ligne série (Figure 2).

FIGURE 2



Les systèmes d'ExAO sont génériques, ils fonctionnent tous sur le même principe: Les capteurs prélèvent les grandeurs physiques analogiques en étude, des

transducteurs les convertissent en signaux électriques pour être transmises à l'interface électronique qui les transforme en signaux numériques pouvant être codés et traités par l'ordinateur. Le didacticiel permet de traiter et de présenter simultanément les données converties par l'interface sous différentes formes (vumètre, graphique, tableur), les modéliser en équations mathématiques (Touma, 2006) et calculer statistiquement les erreurs (Fournier, 2001). Cette méthode permet l'utilisation du graphique cartésien et la compréhension des concepts d'interpolation et d'extrapolation et de la variation des pentes. L'ExAO fonctionne suivant trois modes :

- Le mode conversationnel pour introduire les données et afficher les résultats.
- Le mode de traitement et de mémorisation des résultats.
- Le mode de contrôle du processus.

Conceptualisation du phénomène

L'ExAO n'est point un logiciel de simulation qui à partir des connaissances anime une image d'un objet physique, en ExAO, cette animation en image (équation, tableur, vumètre,...) se déroule de manière synchrone avec un phénomène réel, c'est-à-dire en temps réel, à partir des informations prélevées directement sur cette réalité à l'étude.

Cette approche permet à l'élève d'expérimenter directement sur le phénomène réel sans le plonger dans un monde virtuel. En ExAO, l'animation virtuelle ne se substitue jamais à la réalité, elle ne fait que l'épauler, l'enrichir en la rendant plus concrète.

Notre choix méthodologique : L'ingénierie didactique d'Artigue

Pour permettre aux élèves au lycée de développer des savoir-faire, des connaissances scientifiques et de s'approprier d'une démarche expérimentale, nos étudiants-maitres en Master de chimie se sont investis à créer des activités d'ExAO en chimie comme moyen pour réaliser une pratique pertinente de l'enseignement. Un rapport de laboratoire et sa présentation orale sont implorés par les étudiants-maitres afin d'acquérir une compétence reliée à la communication scientifique. Notre méthodologie se déroule en classe de chimie à l'école comme suit :

- Un défi est lancé aux élèves qui interpelle leurs savoirs déclaratifs et livresques en chimie. Cette situation didactique est aménagée, il va de soi, suivant le temps disponible et le niveau d'études des élèves. L'environnement d'apprentissage se présente en travail collaboratif en binôme.
- les élèves s'investissent à détecter le problème, et ceci par la discrimination des variables en jeux afin de rechercher la solution.

Dans cette étude de la situation « à priori » les élèves abondent de leurs connaissances antérieures pour la rechercher de la solution.

Une séance d'ExAO dans ce thème préparée par nos étudiant-maitres est réalisée par les élèves pour assouvir leur curiosité scientifique et répondre à leurs propres préventions. A la suite de l'expérimentation un questionnaire est administré aux élèves. La cueillette des résultats « à postériori » nous permettent de réviser, d'améliorer, ou même de rejeter les activités d'apprentissage qu'ils auront conçues tant sur le plan disciplinaire que didactique.

Modalités d'exploitation de l'enquête

Nous allons dans le cadre de cette recherche, évoquer l'implication de deux de nos étudiant-maitres en Master de chimie dans deux expériences de chimie effectuées avec 85 élèves en S3SG et S3SV³ dans deux écoles libanaises distinctes.

Échantillon

85 réponses au questionnaire ont regroupé des élèves de deux établissements secondaires pour élaborer notre étude. L'âge de ces élèves est compris entre 17 et 18 ans. Cette enquête est menée dans 2 lycées privés : 30 élèves du Nord du Liban et 55 élèves du Mont-Liban. En ce qui concerne les différentes séries du bac, et parmi les 85 élèves qui ont répondu à l'enquête, le pourcentage est comme suit : 58% de la série Sciences de la Vie (S3SV) et 42% de la série Sciences Générales (S3SG).

Un recueil d'ExAO

L'ExAO dans son éventail scientifique se présente ample et propice en expérimentations interdisciplinaires dans les domaines de la: physique, électricité, hydraulique, biologie, chimie, modélisation mathématique et étude statistique par la méthode de régression visuo-graphique (Touma, 2006). Sa richesse provient du fait que des capteurs virtuels pourront facilement être construits pour contribuer à clarifier la situation sans encombrer l'expérience (Ohm-mètre, puissance-mètre, pH-mètre...). La présente étude s'intéresse à la didactique de la chimie, par suite, nous nous limitons à exposer des situations en chimie.

La neutralisation d'un acide faible par une solution basique

Mise en situation

« Ce n'est pas bon de manger du vinaigre avant le repas!!!!!! »: Le vinaigre, utilisé pour préparer une salade, a une saveur aigre. Cette saveur est due à l'acide éthanoïque,

3 Equivalentes au CGEP au Canada, Baccalauréat deuxième partie série Mathématiques Élémentaires et Sciences Expérimentales en France.

constituant principal du vinaigre. Le vinaigre commun comporte une concentration d'environ 5% à 8% d'acide acétique.

La question soumise aux élèves : Quelle concentration du vinaigre mangeons-nous lorsqu'on mange du fattouche⁴? Est-ce bien conforme à ce qui est indiqué sur la bouteille ?

La manipulation en ExAO consistait à comprendre le principe de dosage de l'acide éthanóique (Vinaigre commercial) par une base forte, la soude et de suivre le dosage avec un pH-mètre. Déterminer la concentration C_0 en acide éthanóique et vérifier l'indication portée sur l'étiquette de la bouteille commerciale.

Dans cette situation, en adoptant ExAO, nous appuyons les choix méthodologiques qui favorisent l'auto-construction des connaissances en incitant les apprenants à interagir pour progresser le savoir individuel, le savoir collectif et en s'appuyant sur les expériences antérieures et le partage de savoirs (Marcotte, 2004).

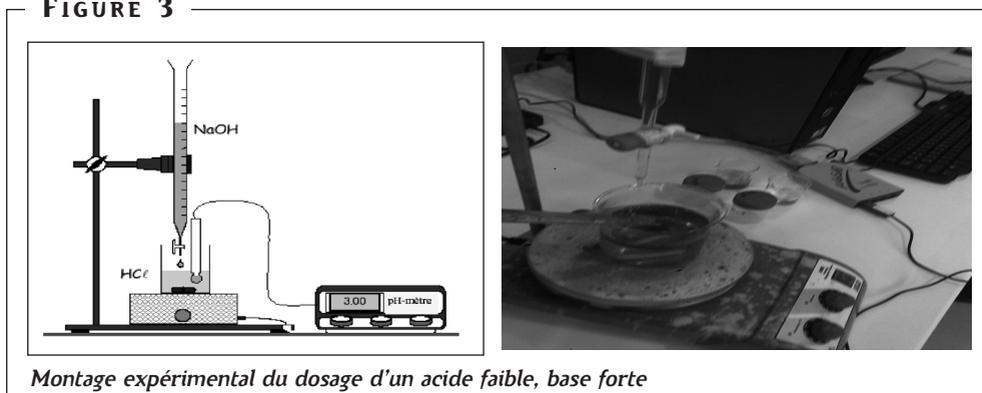
Hypothèse émis par les élèves

D'après leurs savoirs acquis en cours de chimie, les élèves étaient persuadés qu'une base neutralise un acide. La solution du vinaigre sera neutralisée en fonction du volume de la soude ajoutée. L'augmentation du pH du vinaigre se fait en fonction du volume de la soude versé.

Afin de valider leurs réponses, une situation de laboratoire en ExAO était conçue. Le matériel utilisé :

- Matériel ExAO : Interface MicrolabExAO, Logiciel MicrolabExAO, un capteur pHmètre.
- Matériel laboratoire : Burette de 25ml, , un portoir, bécher de 300ml et de 100ml, pipette graduée de 10 ml + pro-pipette, éprouvette de 100ml,

FIGURE 3



Montage expérimental du dosage d'un acide faible, base forte

4 Fattouche est une salade spécialité libanaise.

agitateur magnétique, barreau aimanté, fiole jaugée de 100ml, balance de précision, Hydroxyde de sodium, (soude) en pastilles, vinaigre commercial , solution d'étalonnage pH7 et pH4, eau distillée.

Les élèves commencèrent par étalonner le pH-mètre en utilisant deux solutions : une à pH = 7 ; une autre à pH = 4. Comme c'est prévu au départ, l'expérimentation est réelle : Elle se déroula comme dans un laboratoire traditionnel, cependant les résultats sont virtuels et en synchronisation avec l'expérience.

Protocole expérimental

1. Rincer toutes les verreries à l'eau distillée avant toute utilisation, puis avec le liquide à utiliser.
2. Remplir la burette avec la solution de soude et ajuster le volume à zéro.
3. Prélever 10 ml du vinaigre à l'aide de la pipette jaugée munie d'une pro- pipette et les verser dans le bécher.
4. Ajouter, à l'aide d'une éprouvette graduée de 50 ml, 40 ml d'eau distillée au vinaigre contenu dans le bécher.
5. Ajouter, à l'aide d'un compte gouttes, 5 gouttes de phénolphtaléine dans le bécher.
6. Construire un capteur virtuel de volume à partir d'un capteur de pression :
Volume = fonction (Pression).
7. Etalonner le capteur pH (clic droit, propriété du capteur).
8. Immerger le capteur dans la solution contenue dans le bécher en veillant à ce que le barreau aimanté en rotation ne touche pas l'électrode. (clic droit, transformer ce capteur en décrivant avec une variable extérieur, création d'une entrée manuelle).
9. Mettre l'agitateur magnétique en marche et maintenir l'agitation durant toute l'expérience.
10. Prélever le pH tous les 0,5 ml en dehors de la zone d'équivalence.
11. Prélever le pH tous les 0,2 ml dans la zone d'équivalence.
12. Dédire les caractéristiques de l'équivalence (pH et volume) (une fois, la courbe apparaît sur l'écran).

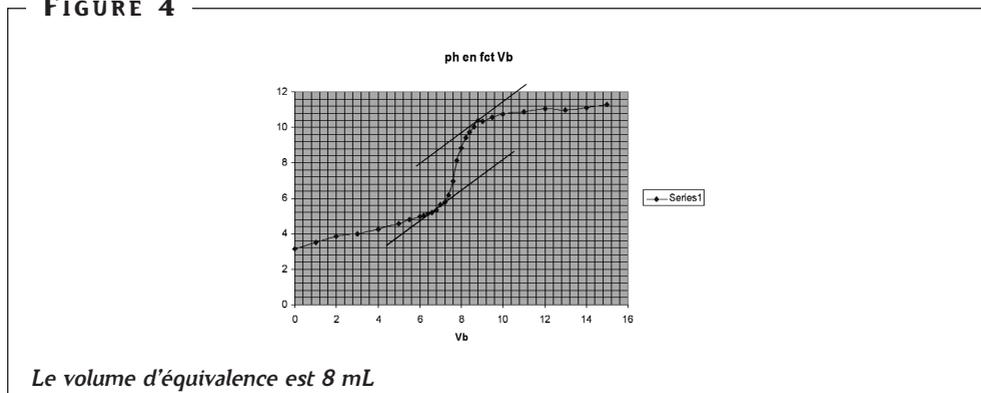
Traitement des données

Ce résultat est transmis directement de l'ExAO dans Excel, d'après la méthode des tangentes (Figure 4):

Pour déterminer la concentration molaire volumique Ca en acide acétique de la solution diluée de vinaigre, les élèves posaient l'équation suivante :

$CaVa = CbVb$ or le volume de l'acide versé pour neutraliser la soude est égal au

FIGURE 4



volume à l'équivalence : $CaVa = CbV_{eq}$; $Va = 10$ ml et $CbV_{eq} = 0.1 \times 8$ d'où $Ca = 0.08$ mol/l.

La concentration de la solution mère (vinaigre commercial) qui était diluée à 1/10 est : $C0 = 0.08 \times 10 = 0.8$ mol/l.

Dans 100g de vinaigre on a 0.08 mol d'acide acétique, or une mole d'acide acétique est égale à 60g, d'où $60 \times 0.08 / 100 = 0.048$. Le résultat conclu par cette expérience en ExAO relate que ce vinaigre à 4.8% ce qui est très proche de l'indication donnée par le manufacturier. Il est possible que le vinaigre change de pourcentage en fonction du temps.

Analyse et interprétation des résultats par les élèves

Le résultat obtenu (degré d'acidité de l'acide acétique) lors du dosage du vinaigre par la soude par pH-métrie est de 4.8%.

Les élèves avancent que ce pourcentage est très proche de l'indication donnée par le manufacturier. Il est possible que le vinaigre change de pourcentage en fonction du temps.

L'étude des antiacides

Le programme officiel en chimie (Sciences de la Vie et de la Terre) des classes terminales scientifiques au Liban prévoient plusieurs chapitres sur la digestion et la neutralisation de l'acide par la base. Une problématique fut posée par l'enseignante : Quelques aliments consommés en excès tel que les protéines, l'alcool, le tabac ou parfois le stress, pourra produire des sensations de brûlures dans l'estomac. Ceci est dû à l'augmentation de l'acide chlorhydrique qui joue un rôle important dans le processus de la digestion : Le HCl permet de détruire quelques bactéries pénétrantes dans l'estomac, il dégrade le saccharose en glucose et fructose et génère du pepsinogène, enzyme qui sert à la bonne digestion des protéines. Pour contrecarrer

cette souffrance, des médicaments nommés « antiacides » constitués de substances basiques, notamment le CaCO_3 ou le Mg(OH)_2 sont prescrits par le médecin. Les questions posées : comment ces comprimés appelés antiacides atténuent-ils les brûlures d'estomac ? Est ce que ces antiacides sont plus efficaces en comprimés ou en poudre, c'est-à-dire est ce que la vitesse de réaction est différente dans chaque cas ? Quel produit est le plus efficace le CaCO_3 ou le Mg(OH)_2 ?

Les élèves commençaient par distinguer les variables intervenants dans ce phénomène: Pour eux, la variable indépendante était le temps, celle dépendante le pH. Cependant, leurs réponses globales prouvaient un embarras à choisir la bonne conclusion dans le cas de la comparaison de la vitesse du comprimé à celle de la poudre ou la juxtaposition du rendement du CaCO_3 et le Mg(OH)_2 . Aucun document consulté au cours de leur cursus scolaire n'est pertinent à cette situation inédite. Pour conclure à cette obstruction, une dizaine parmi eux ont opté pour l'achat du médicament le plus cher. Ils étaient convaincus que le prix reflète l'efficacité du produit.

Bachelard (1938) expliquait cette anticipation sur la réponse par « *l'obstacle épistémologique* » : « *Il s'agit là d'une réponse toute prête, une idée évidente qui s'impose à nous, une réponse économique qui ne nous bloque pas. Le remplacement de la conception initiale, alternative, par le concept demande un effort, il oblige à renoncer à ces évidences pour les remplacer par des connaissances difficiles à comprendre: Il faut penser contre le cerveau* ».

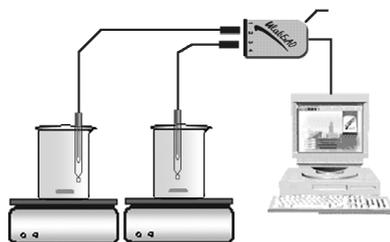
Astolfi (1997) empruntait une des constatations de Piaget pour interpréter les idées anticipées des élèves : « *Les enfants disposaient de conceptions préalables construites au cours de leur existence. Le problème vient, du fait que, souvent, elles résistent aux apprentissages et qu'on peut les retrouver au terme d'études parfois longues* ».

Toutefois, les élèves ont droit à l'erreur, les pédagogues et les didacticiens se convergent vers une constatation irrévocable : l'erreur est constructive.

L'étudiant-maitre leur proposait une séance d'ExAO pour calmer leur incertitude. Le matériel préposé:

- Matériel ExAO : Interface MicrolabExAO, Logiciel MicrolabExAO, deux capteurs pHmètre.
- Matériel laboratoire : 2 béchers de 250ml, pipette graduée de 10 ml + propipette, Eau distillée, Éprouvette de 100ml, 2 agitateurs magnétiques, 2 barreaux aimantés, fiole jaugée de 100ml, eau distillée, Mortier et son pilon, HCl (0.001M), solution d'étalonnage pH7 et pH4 (Figure 5).

FIGURE 5



Montage expérimental de l'étude des antiacides

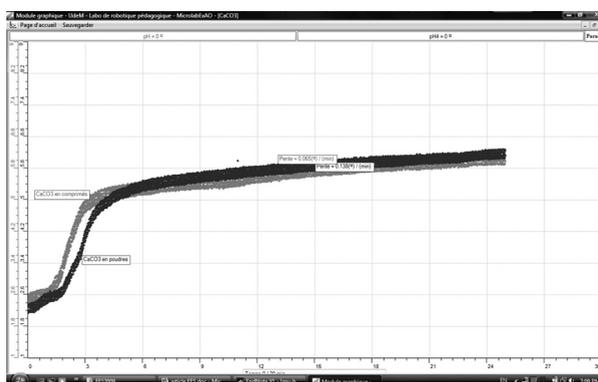
Protocole expérimental

Le même protocole est suivi en cas du CaCO_3 et du $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

1. Rincer toutes les verreries à l'eau distillée avant toute utilisation, puis avec le liquide à utiliser.
2. Brancher l'interface Microlab ExAO et ensuite les capteurs de pH.
3. Dans chaque bécquer de 250 ml verser dans 100 ml de HCl.
4. Placer les bécquer sur les deux agitateurs, et déposer à l'intérieur deux barreaux magnétiques.
5. Placer les deux capteurs de pH dans les bécquer.
6. Mettre en marche les deux agitateurs.
7. Déposer les antiacides en entier et les antiacides en poudre dans les bécquer respectifs au même moment.
8. Une fois le pH du HCl se stabilise, éteindre l'agiteateur.

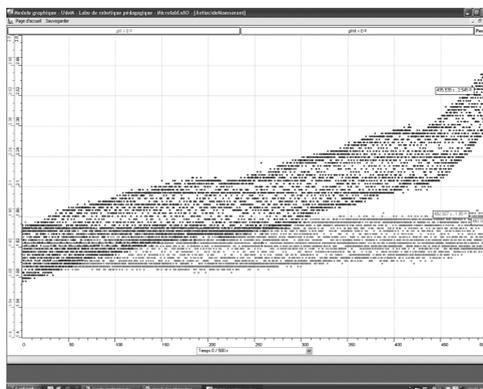
Résultats graphiques (Figures 6 et 7)

FIGURE 6



Antiacide CaCO_3

FIGURE 7

Antiacide $Mg(OH)_2$

Analyse et interprétation des résultats par les élèves

L'antiacide devrait idéalement augmenter le pH de la solution jusqu'à 7 pour atteindre une solution neutre. D'après les 2 expériences en ExAO, les élèves constatent que dans le cas du $CaCO_3$ comme celui du $Mg(OH)_2$, la pente de neutralisation est plus forte en poudre qu'en comprimé, par suite, les comprimés sont plus lents à soulager la douleur que la poudre. D'autre part, Les élèves remarquent que le médicament en $Mg(OH)_2$, n'est pas aussi efficace que celui en $CaCO_3$ car, d'une part il est plus lent et d'autre part, il atteint un $pH= 4$ après 500sec.

Apports de l'enquête

À l'école, pendant une durée de presque 10 minutes, les 85 élèves ont complété et rendu leur feuille-réponse anonyme après les deux séances en ExAO de 90 minutes chacune. Ce questionnaire présenté à postériori, suivant « l'ingénierie didactique » d'Artigue, nous permettra de divulguer et d'étudier le changement du rapport élève-savoir.

Résultats du questionnaire

À la fin de ces deux séances d'ExAO, le élèves ont répondu à un questionnaire (Tableau) en cochant la case convenable et ceci pour dévoiler leurs opinions personnelles sur l'expérimentation assistée par ordinateur.

Synthésation et analyse des résultats :

Les réponses aux questions 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 10 nous révèlent que la manipulation de l'ordinateur, utilisée seule, n'est pas de nature à apporter l'aide nécessaire aux élèves

TABEAU

Questionnaire administré aux élèves des S3SG - S3SV

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
1. L'ordinateur nous apporte plus d'autonomie. L'ExAO nous encourage à faire des expériences par nous-mêmes.	88%		2%	10%
2. Nous avons la possibilité de recommencer en cas d'erreur.	75%	17%		8%
3. L'analyse est simplifiée parce que les mesures sont déjà en tableau et en graphe.	68%	23%	9%	
4. L'ExAO nous permet de voir l'interaction entre le pH et le volume de la base versé.	92%		8%	
5. Avec ExAO, nous sommes plus portés à modifier le montage pour voir l'effet sur les variables.	9%	11%		80%
6. Les laboratoires avec ExAO sont intéressants car on voit en temps réel le résultat du phénomène en question.	70%	26%	4%	
7. Le protocole expérimental en ExAO est réalisé sans difficultés.	65%	11%	6%	18%
8. L'utilisation de l'ExAO nous permet de comparer facilement la variation du pH d'un antiacide en comprimé et en poudre.	83%		4%	13%
9. Il est nécessaire d'avoir d'abord une séance d'explications sur le fonctionnement de l'ExAO.	38%		3%	59%
10. La présence de l'ordinateur éloigne l'expérimentateur de l'objet d'étude.	13%		5%	82%
11. Quand des problèmes surviennent, nous ne savons pas vraiment les causes (logiciel, interface, protocole expérimental).	40%	8%	14%	38%

en difficulté, c'est la combinaison d'un didacticiel et d'une expérimentation réelle qui pourra compenser un déficit de compréhension.

Les réponses aux questions 4, 5 et 6 montrent que pour les élèves, l'ExAO se présente en outil scientifique pour appréhender le phénomène physique en étude (la réalité) et sa représentation cartésienne synchrone (l'abstraction).

Bishop (1996) avançait que : « *L'emploi de l'inférence figurative dans l'enseignement-apprentissage prolonge l'espace didactique disponible autour des situations où le raisonnement est susceptible d'intervenir* ».

Beaufils (2001) affirmait que les micro-laboratoires d'Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO) favorisent une pédagogie constructiviste, une intégration des matières et une approche par compétences.

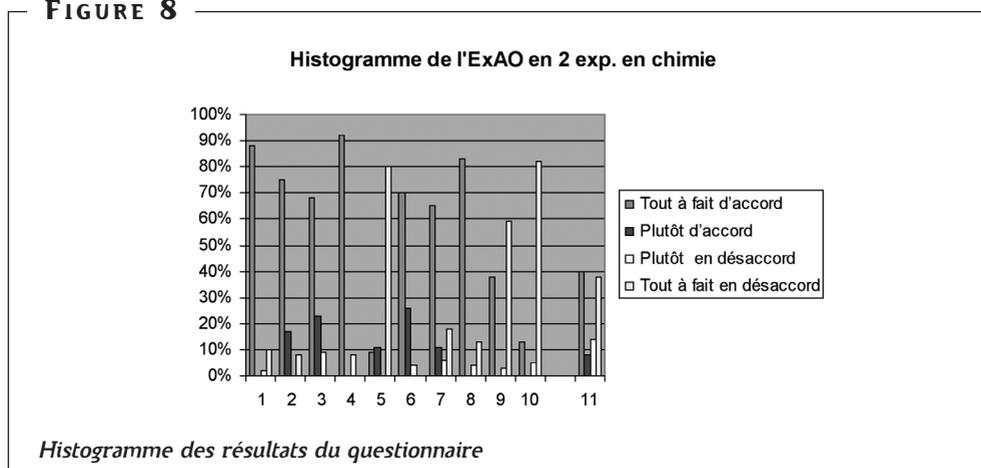
En effet, le principe de l'ExAO (Nonnon, 2007) suppose une alternance entre les processus intellectuels de contextualisation et de décontextualisation lors de l'acquisition de connaissances. L'apprenant est capable de visualiser, en même temps, les deux formes de représentations (réelle et graphique) : « *L'élève accède ainsi à l'abstraction mathématique et graphique au contact direct de la réalité* ».

De plus, les réponses aux questions 1 et 2 montrent que l'ExAO permet aux élèves une autonomie pour s'engager créativement à la recherche des connaissances en augmentant leur contact avec les activités concrètes. L'ExAO ne se limite pas à la validation d'une règle ou d'une loi énoncée préalablement par l'enseignant, mais il privilégie l'initiative, la créativité, la rigueur pour aller chercher les connaissances issues, autant que possible, des questions propres de l'élève (questions 2, 5 et 7).

L'introduction de l'ExAO dans l'enseignement des sciences apporte de nombreux avantages. L'acquisition des données peut être automatisée, les résultats des mesures peuvent être sauvegardés aisément et traités par divers outils logiciels, de plus, la présentation des résultats sous forme graphique est considérablement simplifiée ce qui en facilite l'analyse et l'exploitation pédagogique (questions 3, 4, 6, 7 et 8).

Enfin, compte tenu de la simplicité et la facilité de l'utilisation de l'ExAO (questions 9 et 11), les enseignants n'ont plus à perdre le temps à faire un long exposé de cet outil pédagogique et, par suite, un encadrement important n'est plus exigé (Figure 8).

FIGURE 8



CONCLUSION

Ce travail de recherche avait pour objectif d'apporter une contribution au problème de l'enseignement scientifique, notamment de la chimie, dans les écoles libanaises en retenant, pour ce faire, une approche particulière, celle de l'Expérimentation Assistée

par Ordinateur. Dans cette perspective, nous avons entrepris cette recherche dans l'intention de nous donner des informations concrètes sur l'intérêt pédagogique d'introduire des activités d'apprentissage en ExAO dans le cursus scolaire libanais en chimie. Plus spécifiquement, nous voulions vérifier les bénéfices didactiques que retireraient les élèves s'ils effectuaient leurs expériences de laboratoire dans cet environnement informatisé via une approche constructiviste et multidisciplinaire.

Deux modèles d'action en chimie ont été évalués par nos étudiants-maitres. Dans cette situation, nos étudiants-maitres ont assumé le rôle de l'apprenant et ont utilisé ces modèles d'ExAO de manière exhaustive en vérifiant les situations d'apprentissage en chimie avec leurs élèves de classes secondaires.

La validation didactique de ce paradigme, a été fondée sur une confrontation entre une analyse réalisée à priori et des constats effectués à posteriori, inspirée des modèles de recherche récents en ingénierie didactique d'Artigue (1990) et Paquette (1999). Ainsi, à l'aide d'un questionnaire, nous avons recueilli des informations qui relatent la motivation des élèves à travailler avec cet environnement, sa facilité, ses bénéfices sur le savoir ainsi que la possibilité d'intégrer notre modèle dans les milieux de pratique. L'analyse des résultats, les commentaires des élèves et de leurs enseignants, nous montrent qu'ils ont facilement mis en évidence les deux phénomènes en chimie grâce à l'utilisation de l'ExAO. Dans leurs réponses au questionnaire, ils affirment que l'ExAO est simple à utiliser pour analyser et interpréter leurs résultats. La même constatation a été émise par leurs enseignants qui relatent la facilité d'interpréter les résultats présentés de manière graphique.

D'autre part, nous avons remarqué que par l'implantation de cette stratégie en ExAO, les élèves, s'engagent fructueusement dans une démarche de recherche de solution qui génère des stratégies de résolution du point de vue de la mobilisation de savoirs et de leur réorganisation en savoirs nouveaux. Force de constater que cette stratégie offre le potentiel de développer la motivation et la confiance de l'apprenant en le rendant capable d'avoir un sentiment d'appropriation du processus d'apprentissage, en améliorant ses aptitudes à la prise de décision et en l'aidant à gérer les transitions entre les étapes de son parcours de découverte lié à ses besoins.

PERSPECTIVES

L'apprentissage de la chimie, actuellement en pleine évolution, ne répond plus aux besoins de massification des études des sociétés. Il s'avère primordial pour les responsables éducatifs qu'une méthodologie traditionnelle basée sur une transmission des savoirs par l'enseignant et leur simple empilement par l'apprenant ne peut pas favoriser l'acquisition des compétences professionnelles. En chimie, encourager une approche constructive plus ouverte des problèmes axée sur les TICs dans un

laboratoire informatisé d'ExAO agrège à la démarche heuristique un sens plus significatif et attractif pour les élèves.

En revanche, une simple réforme du curriculum ne suffit pas à transformer les pratiques d'enseignement habituelles. C'est la mise en application d'une démarche réellement constructiviste et basée sur les évolutions en technologie qui confronte les enseignants sur le terrain. L'outil didactique concernerait la méthodologie, la stratégie, l'épistémologie, les matériels de construction, logiciels, interface électronique, plates-formes, référentiels, etc. Ils devront être intégrés aux nouveaux laboratoires non pas comme objets d'apprentissage mais comme outils pour faciliter la mise en œuvre des activités d'apprentissage scientifique et pour supporter l'apprenant dans ses démarches.

Pour cet objectif, nous proposons de développer dans les universités des équipes d'enseignement et des laboratoires de recherche hybrides des savoirs transversaux pour la formation des formateurs. La principale difficulté est de trouver les moyens de fédérer « cette peau nouvelle » en balance avec dispositions et en compétences hétéroclites.

RÉFÉRENCES

- Artigue, M. (1990). Ingénierie didactique. *Epistémologie et Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 241-286.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner* (Issy-les-Moulineaux: E.S.F.).
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique* (Paris: Vrin).
- Beaufils, D. (2000). Les logiciels de simulation comme supports de registres de représentation pour les apprentissages en physique : une approche transdisciplinaire. In *L'apprentissage : une approche transdisciplinaire - Actes des Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives* (Orsay: Université Paris-Sud - ISCC), 101-104.
- Beaufils, D. (2001). *Expérimentation d'une utilisation de logiciels de simulation en physique : analyse théorique*. [<http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/RapSimlufm/AnalyseTh.htm>].
- Bishop, A. J. (1996). Implications didactiques de les recerques sobre visualitzación. *Butlletí de la Societat Catalana de Matemètiques*, 11(2), 7-18.
- Boudreault, Y. (2003). *Conception et développement d'un environnement favorisant l'apprentissage des concepts fondamentaux de la programmation* (Montréal: Université de Montréal).
- Brasel, 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), 385-395.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 33-115.
- Brousseau, G. (2003). Éducation et Didactique des Mathématiques. *Educación Matemática*, 12(1), 5-39.
- Fournier, F. (2001). *Enseigner les sciences avec des expérimentations assistées par ordinateur (ExAO)* (Montréal- Québec: Université de Montréal).
- Gagne, R. M. (1976). *The condition of learning* (New York: Holt, Rinehart & Winston).

- Giardina, M., Depover, C. & Marton, P. (1998). *Les environnements d'apprentissage multimédia: analyse et conception* (Paris/Montréal : L'Harmattan).
- Ginesté, J. (1999). *La démarche du projet industriel et l'enseignement de la technologie*. Paper presented at the Séminaire de didactique des disciplines technologiques, IUFM Aix-Marseille, Marseille.
- 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 P. Nonnon & M. Vivet (Eds) *Actes du 5e colloque international de robotique pédagogique* (Montréal : Université de Montréal), 139-179.
- Gonod, P. (1972). *Aperçu théorique : Technologie, Transferts, Innovations Technologiques* (Washington D.C: Secrétariat Général de l'Organisation des États Américains).
- Goupil, G. & Lusignan, G. (1993). *Apprentissage et enseignement en milieu scolaire* (Boucherville: Gaëtan Morin).
- Halbwachs, F. (1975). Avertissement. *Revue Française de Pédagogie*, 33, 5-6.
- Jacob, O. (1997). *Cyberculture* (Genève: Université de Genève - Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation).
- Kolb, D. A. & Fry, R. (1975). Toward an applied theory of experiential learning. In C. Cooper (ed.) *Theories of Group Process* (London: John Wiley), 33-58.
- Levy, P. (1994). *L'Intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace* (Paris: La Découverte).
- Levy, P. (1995). *Qu'est-ce que le virtuel?* (Paris: La Découverte).
- Marcotte, A. (2004). *Les apports de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)* (Montréal: Université de Montréal).
- MELS. (2006). *Programme de formation de l'école québécoise*, Québec.
- Mokros J. & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputers-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-383.
- Nonnon, P. (1997). *Robotique pédagogique* (Montréal: FSE- Université de Montréal).
- Nonnon, P. (1999). Radioscopie virtuelle. In *Actes du 5eme Colloque de Robotique Pédagogique* (Montréal: Université de Montréal), 335-342.
- Nonnon, P. (2003). Robotique pédagogique en enseignement professionnel. *Aster*, 33-49.
- Nonnon, P. (2007). *Enseigner les sciences avec ExAO* (Montréal: Presse de l'Université de Montréal).
- Nonnon, P. (2008). Un environnement informatisé d'apprentissage pour l'intégration des mathématiques, des sciences et de la technologie. *Skholé*, 14, 79-86.
- Nonnon, P., Laurencelle, L. & Joyal, J. P. (1972). Conditionnement classique et réaction cardiaque chez l'homme. *Bulletin de Psychologie* 2 (Montréal: UQAM).
- OCDE. (2008). *Encouraging student interest in Science and Technology studies* (Paris: OECD Publishing).
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach* (Oxford: University Press).
- Paquette, G. (1999). L'ingénierie des interactions dans les systèmes d'apprentissage. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 25(1), 135-161.
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie* (Paris: Denold).
- Richard, P. R. (2000). L'inférence figurative. In P. Boero, G. Harel, C. Maher & M. Miyazaki (eds) *Proof and Proving in Mathematics Education, Proceedings of the ICME9-TSG-12* (Tokyo/Makuhari, Japan: ICME).

- Saliba, M.-T. (2011). *Développement et évaluation d'un environnement informatisé d'apprentissage pour faciliter l'intégration des sciences et de la technologie*. Thèse de doctorat (Montréal: Québec Université de Montréal).
- Smith, V. & Cardacioto, L. (2011). Is active learning like broccoli? Student perceptions of active learning in large lecture classes. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 11, 53-61.
- Touma, G. (2006). *Un paradigme d'expérimentation au laboratoire de sciences pour l'identification et l'optimisation statistique d'un modèle algébrique par interaction visuo-graphique*. Thèse de doctorat (Montréal: Québec Université de Montréal).
- UNESCO. (1999). La science pour le XXI siècle: un nouvel engagement. *Conférence mondiale sur la science*. [<http://www.unesco.org/science/wcs/fre/confrr.htm>].
- UNESCO. (2008). Réforme des programmes d'enseignement scientifique et technologique. [<http://www.unesco.org/new/en/education/>].
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (Paris: Éditions Sociales).