

Place des nouvelles technologies dans l'enseignement de la physique-chimie

Marie-Christine MILOT

Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
Direction de l'information scientifique,
des technologies nouvelles et des bibliothèques
Bureau des technologies nouvelles pour l'enseignement
107 rue de Grenelle
75007 Paris, France.

Résumé

Après avoir replacé l'évolution de l'utilisation de l'ordinateur dans le contexte des programmes, deux exemples montrent des aspects pédagogiques différents des usages de l'outil informatique tel qu'il s'est intégré dans les pratiques des enseignants. Cette évolution se poursuit avec des produits beaucoup plus riches, en images en particulier, et des moyens de communications à grande échelle. Ces changements ont conduit à s'interroger sur les connaissances indispensables des élèves ainsi que sur les possibilités de transférer les expériences acquises au travers des formations des enseignants.

Mots clés : *informatique, acquisition, modélisation, simulation, formation.*

Abstract

After presenting the evolution of computer use in the context of the official curriculum, we give two examples showing the different pedagogical aspects of uses of the computer tool within teaching practices. This evolution continues with products which are richer in images and ways of communication at a large scale.

These changes lead to ask questions about pupils' essential knowledge and about the possibilities to transfer experiences acquired through teacher training.

Key words : *computer science, acquisition, modelization, simulation, teacher training.*

Resumen

Después de haber reubicado la evolución de la utilización del computador en el contexto de los programas, dos ejemplos muestran los diferentes aspectos pedagógicos del uso de la herramienta informática tal como está integrada en las prácticas de los enseñantes. Esta evolución se prosigue con productos mucho más ricos en imágenes en particular y en medios de comunicación a gran escala. Estos cambios han conducido a plantear preguntas sobre los conocimientos indispensables de los alumnos y las posibilidades de transferir las experiencias adquiridas a través de la formación de los enseñantes.

Palabras claves : *informática, adquisición, modelización, simulación, formación.*

1. UN PEU D'HISTOIRE

Il est tout d'abord nécessaire de préciser ce que l'on entend par nouvelles technologies. Il peut être simple d'y placer l'ordinateur et tout ce que l'on peut faire avec cet instrument et ses accessoires aussi bien logiciels que matériels. Ces pratiques évoluent avec le temps. Les usages des précurseurs des années 1980 deviennent courants. De nouveaux usages apparaissent, en lien avec l'évolution des machines et des logiciels : dans l'environnement des élèves, les images prennent une importance de plus en plus grande.

Les développements historiques ont fait l'objet d'un article (Ministère de l'Éducation nationale, 1994) lors du compte rendu d'une expérimentation importante animée par la Direction des Lycées et Collèges dans toutes les académies ; quelques éléments en sont rappelés ci-dessous. En effet, on ne peut comprendre les développements actuels sans résumer ces dix dernières années.

Dès les années 1980, on voit apparaître des mesures et graphiques automatiques dans de nombreux domaines. L'enseignement pouvait-il rester à l'écart de cette évolution ? Quels usages ces nouvelles technologies allaient-elles développer ? Le remplacement des expériences par des simulations allait-il modifier notre enseignement ? Il était nécessaire que des organismes se préoccupent de prospective : une discipline telle que la physique-chimie ne pouvait rester à l'écart de cette évolution, ne serait-ce que pour pouvoir l'orienter dans une direction correspondant à sa philosophie.

L'enseignement de la physique-chimie suit des orientations différentes suivant les pays. Ainsi en France, l'accent est mis depuis de longues années sur l'importance, pour l'assimilation des concepts, des expériences réalisées par les enfants eux-mêmes : les structures, les programmes, l'organisation des laboratoires le permettent. Cette orientation a marqué les débuts des recherches sur l'utilisation des nouvelles technologies en physique-chimie. Dès ces années, des groupes d'enseignants relevant d'organismes divers (bureau des innovations pédagogiques et des technologies nouvelles dépendant de la Direction des Lycées et Collèges, Centre National de Documentation Pédagogique, Institut National de Recherche Pédagogique) ont contribué à mettre au point des interfaces à usage pédagogique et des logiciels adaptés aux programmes d'enseignement des lycées. En effet, les possibilités techniques offertes par les interfaces industrielles étaient bien supérieures aux besoins des lycées et leurs prix prohibitifs. Dès le début, il s'est agi de considérer l'ordinateur comme un outil parmi d'autres au service de l'expérimentation, l'enseignant devant disposer de logiciels adaptés. Ce choix a probablement permis une extension rapide, les enseignants pouvant constater, lors de stages ou de démonstrations, qu'il s'agissait d'une activité de physicien ou de chimiste et que les connaissances nécessaires ne dépassaient pas celles de «l'utilisateur averti» d'un ordinateur.

En 1987, la Direction des Lycées et Collèges estime nécessaire de passer à un stade plus large d'expérimentation. Quelques académies en pointe entament parallèlement ce type d'expérimentation. La Direction des Lycées et Collèges équipe dans chaque académie un établissement en physique-chimie et un en biologie-géologie. Cet établissement, choisi sur proposition du Recteur de l'académie, a pour mission de tester en vraie grandeur les produits et de participer ainsi aux développements ultérieurs. Les industriels et éditeurs de logiciels sont associés dès le début à cette expérimentation, ainsi que les organismes cités plus haut et l'Inspection Générale de physique-chimie. Avec le temps, ce pôle est souvent devenu un pôle de développement dans l'académie, et les enseignants impliqués, des formateurs pour leurs collègues.

Cette expérimentation, ayant développé des pratiques tout à fait intéressantes, a abouti à une prise en compte de l'ordinateur en tant qu'outil d'Acquisition et de Traitement Informatique de Données Expérimentales (ATIDEX) dans les programmes actuels de physique-chimie.

De fait, en France, les programmes officiels accordent une large place au caractère expérimental de l'enseignement. Les principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée qui accompagnent les programmes de 1992-94 (BOEN, 1992) signalent parmi les objectifs généraux : «7- ... *Les activités expérimentales ont une place*

essentielle» et «10-... l'ordinateur sera l'outil privilégié pour la saisie et le traitement des données ainsi que pour la simulation. Il ne sera en aucun cas substitué à l'expérience directe dont il sera le serviteur». Ces deux observations résument l'état des possibilités de l'ordinateur développées dans l'enseignement aujourd'hui.

Un deuxième aspect a guidé les précurseurs (Ministère de l'Éducation nationale, 1994) : «*Les sciences physiques ont toujours été considérées, en second cycle, comme une matière un peu difficile. Leur caractère interdisciplinaire est certainement une des causes principales de cette situation : un physicien doit bien maîtriser certaines techniques mathématiques, mais aussi le langage dans lequel il s'exprime.*»

En 1940, dans un article intitulé «*Les fondements de la physique théorique*», A. Einstein (éd. 1990, pp. 77-96), définit ainsi la physique : «*Ce que nous appelons physique comprend ce groupe de sciences de la nature qui basent leurs concepts sur des mesures, et dont les concepts et les propositions se prêtent à être formulés mathématiquement.*» De fait, la physique et en grande partie la chimie font appel pour leur étude à de nombreux savoir-faire annexes et les élèves peuvent connaître des blocages plus importants à ce niveau qu'à celui du phénomène expérimental lui-même. Dans une séance de travaux pratiques, les objectifs expérimentaux sont parfois masqués par les difficultés des élèves devant les outils à utiliser. Il est même parfois difficile à l'enseignant de mettre l'accent sur le phénomène physique intéressant tant il a besoin de digressions utilitaristes.

Compte tenu des deux observations précédentes (caractère expérimental de l'enseignement et nécessité de «faire de la physique-chimie» seulement !), l'ordinateur a d'abord été privilégié en tant qu'outil d'Acquisition et de Traitement de Données Expérimentales (ATIDEX). Cet aspect est en cours de généralisation.

Les nombreuses autres possibilités de l'ordinateur en font plus qu'un simple appareil de mesures. Les logiciels de simulation, pour offrir des situations intéressantes, demandent des puissances de calcul qui sont maintenant accessibles sur les machines présentes dans les établissements scolaires.

Notre chance est peut-être d'arriver à associer l'expérience réelle, son étude quantitative liée aux outils de traitement actuels et maintenant une simulation permettant de montrer des phénomènes dans des situations beaucoup plus variées et plus proches de la réalité, sans qu'il soit pour autant nécessaire d'avoir recours à un outillage mathématique très élaboré.

2. DES EXEMPLES

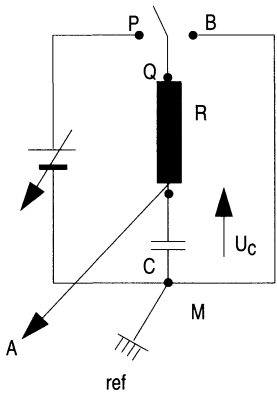
Les différents apports seront envisagés à propos d'exemples précis de concepts physiques enseignés en classe de lycée. L'accent sera mis sur l'utilisation par les élèves de cet outil.

Lorsque l'étude d'un phénomène suppose une représentation graphique, la construction du graphe demande un temps relativement important même pour un élève efficace et n'apporte pas grand chose à l'assimilation du concept. Un temps est nécessaire pour cet apprentissage mais il ne doit pas masquer l'essentiel. L'ordinateur permet de mieux cerner les objectifs d'une séance en remettant à leur juste place ce qui ne constitue qu'un auxiliaire. L'action concrète de l'élève sur son dispositif expérimental (basculer l'interrupteur pour décharger un condensateur, modifier la tension d'alimentation d'un dipôle, verser quelques gouttes de solution dans un dosage...) est immédiatement traduite dans la représentation graphique et donc observable et analysable.

Par ailleurs, si de nombreuses disciplines utilisent les représentations graphiques, les «consignes» ne sont pas les mêmes en sciences expérimentales, en sciences économiques et sociales ou en mathématiques et ces différences sont justifiées par l'usage qui en est fait. Ainsi, un «bon» logiciel de physique-chimie fournit directement des graphiques répondant aux exigences dans cette discipline : les mesures sont représentées par des points, les axes portent des graduations régulièrement espacées, les grandeurs portées en abscisse et ordonnée sont indiquées avec leurs unités ! L'enseignant pourra plus facilement convaincre l'élève, habitué à disposer de «bons» graphiques, d'en «faire autant à la main» ! Cette activité de représentation graphique liée au traitement de données acquises sur un dispositif expérimental est relativement courante actuellement : c'est un des premiers usages de l'ordinateur en physique-chimie.

2.1. L'acquisition de données, qui a été historiquement le premier domaine à être développé, est particulièrement utile pour l'étude des phénomènes transitoires qui, avec des outils plus classiques, nécessitent des montages un peu artificiels.

L'étude d'un condensateur est un exemple particulièrement intéressant de simplification et de recentrage sur le phénomène étudié.



Le phénomène essentiel à faire comprendre est la charge et la décharge du condensateur représenté par un système de deux plaques parallèles séparées par un isolant. Ce phénomène (un condensateur chargé est capable de faire passer un courant dans un conducteur ohmique) est décrit simplement par le montage schématisé ci-contre.

La réalisation expérimentale peut-elle être aussi simple ?

Figure 1 : Charge et décharge d'un condensateur

L'alimentation pour la charge est une simple pile. Les circuits de charge et de décharge sont clairement identifiés. La décharge se fait à travers le conducteur ohmique de résistance R ou éventuellement une bobine d'induction. La durée du phénomène étant de l'ordre du produit RC, l'évolution de la tension U_c est de l'ordre de quelques millisecondes.

Que brancher entre A et ref pour mesurer la tension U_c ? Une interface d'acquisition de données est adaptée à l'enregistrement de cette tension, sa visualisation et des traitements mathématiques variés.

L'autre possibilité consiste à utiliser un oscilloscope classique (l'oscilloscope à mémoire commence tout juste à être présent dans les établissements d'enseignement général). Pour cela le montage expérimental doit être modifié, puisque le phénomène de charge et décharge doit être répété pour que la visualisation soit possible (figure 2).

L'utilisation d'un signal carré fourni par un GBF ne peut que compliquer le montage en introduisant un paramètre parasite : la période du signal carré doit être adaptée au temps de charge pour permettre la visualisation du phénomène. Les deux circuits charge et décharge ne sont plus clairement identifiés. Pour un «apprenti» ces différences sont très importantes.

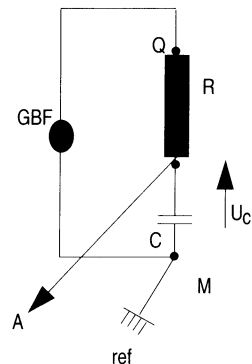
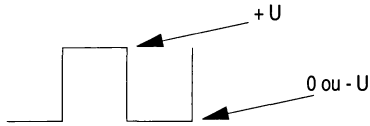


Figure 2 : Charge et décharge d'un condensateur, montage avec oscilloscope

L'analyse du signal carré est de plus perturbante. Le condensateur est-il successivement soumis à des tensions valant 0 et U, ou -U et +U ? Le GBF dispose-t-il d'un «offset» ou pas ?



Autrement dit, est-ce une succession de charges et décharges ou de charges de signes contraires ? Il est impossible d'envisager ces nuances lorsqu'on aborde ces notions pour la première fois avec des élèves. Cela ne se voit pas sur l'écran de l'oscilloscope mais gênera un élève qui réfléchit...

Figure 3 : Tension en créneaux ou signal carré

Si le schéma théorique est le même que le schéma du montage expérimental (premier cas), le lien entre l'expérience et la théorie est plus direct : le phénomène a une durée limitée, cela se voit sur un voltmètre placé entre ref et A si les valeurs sont telles que RC est assez grand ; une étude systématique peut être effectuée dans tous les cas !

Pour l'élève le fait de basculer l'interrupteur et d'observer en «temps réel» la courbe donnant U_c en fonction du temps, de pouvoir modifier R ou C et d'observer immédiatement les résultats est un aspect important.

L'étude peut être complétée en plaçant entre M et B une bobine d'induction afin de montrer l'existence d'oscillations électriques dans un circuit.

Cette étude peut être entreprise très tôt : les seuls concepts nécessaires sont les notions de charge électrique, d'intensité et de tension. Une telle expérience, qualitative, doit pouvoir même aider à l'assimilation de ces concepts.

Quels que soient le logiciel général et l'interface d'acquisition utilisés, en fonction du niveau des élèves, les possibilités de traitement sont très nombreuses : visualisation des variations de l'intensité en mesurant la tension aux bornes d'un conducteur ohmique, calcul des énergies mises en jeu dans ce circuit...

Il serait de plus souhaitable que les élèves aient le temps d'avoir de l'initiative et d'envisager de réaliser d'autres expériences afin de vérifier qu'ils ont bien compris : l'ordinateur devrait permettre une pratique expérimentale plus ouverte. L'option IESP (informatique et électronique en sciences physiques) permet d'envisager actuellement de tels développements.

2.2. L'acquisition de données peut être associée à la simulation. Dans ce domaine, les logiciels ne sont pas très nombreux mais un exemple intéressant concerne la chimie. Le logiciel Simultit (L&I) contient une grande banque de données permettant l'étude quantitative des solutions aqueuses. Les élèves doivent avoir conscience que le logiciel utilise une méthode de calcul pas à pas, basée sur les relations décrivant les solutions aqueuses (cette méthode est décrite dans la documentation). Il permet :

- d'introduire des données expérimentales,
- d'observer l'évolution d'un grand nombre de caractéristiques de la solution définie,
- de comparer les résultats expérimentaux et théoriques.

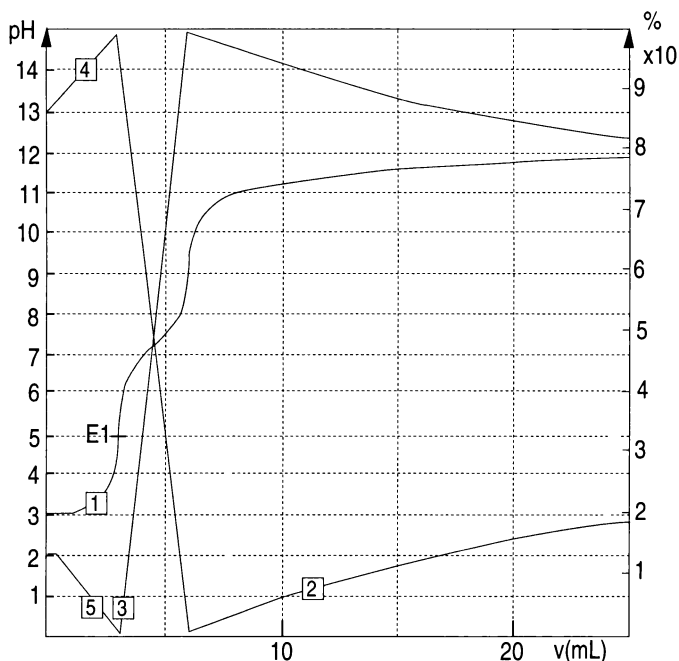


Figure 4 : Dosage de l'acide phosphorique par la soude

Le dosage de l'acide phosphorique du Coca-Cola (programme de spécialité de Terminale Scientifique TS) conduit à étudier une courbe d'évolution du pH : courbe (1) sur le graphe ci-dessus.

Le logiciel permet d'afficher sous forme de pourcentages, les concentrations des différentes espèces acides et basiques mises en jeu (courbes 2 à 5 ; échelle de droite des ordonnées). De tels calculs sont inaccessibles pour des élèves de ce niveau.

De nombreux renseignements peuvent être obtenus à partir de l'étude d'un tel graphique.

La mise en relation du premier point d'équivalence E_1 et de la courbe (5) rappelle qu'en ce point tout l'acide initial a disparu, ce qui justifie le calcul de la concentration à partir de la première équivalence.

Il est aussi possible de donner le graphe aux élèves et de leur demander d'identifier les courbes (2), (3), (4) et (5).

Un autre aspect de ce logiciel concerne l'étude plus générale des solutions aqueuses d'acide et de base. Les acides étudiés ont des pK_a de l'ordre de 3 à 4 et les bases des pK_a de l'ordre de 9 à 11 : pourquoi ce choix ? Il n'est pas seulement justifié par le coût et la facilité d'emploi. Les visualisations de courbes de pH dans des situations «hors normes» (pK_a et concentrations) apportent une réponse théorique : un débutant retiendra plus facilement des courbes dont les caractéristiques sont «caricaturales». Visualiser des situations différentes permet de ne pas se construire de modèles trop figés mais de reconnaître des cas prototypiques comme tels.

Cet aspect est intéressant car il permet de ne traiter complètement que des cas simples tout en montrant d'autres situations, ce qui évite les «généralisations abusives».

Complément indispensable de l'apprentissage expérimental réalisé par les élèves, la simulation peut aussi permettre de concrétiser des situations complètement hors du champ de l'expérience accessible ; le logiciel *Interactive Physics*, malheureusement non traduit actuellement, est une aide précieuse à la représentation des phénomènes, en particulier mécaniques, qui dépendent du référentiel choisi : on peut sortir du champ terrestre pour envisager des situations que l'esprit humain a bien du mal à imaginer et qui sont utiles pour comprendre en quoi les conditions courantes influencent les mouvements observés. Par exemple, un enfant lance verticalement une balle alors qu'il se déplace sur un tapis roulant horizontalement : quel est l'aspect de la trajectoire de la balle pour un observateur sur le tapis ? pour un observateur sur le sol fixe ? On imagine une séance de travaux pratiques consistant à filmer l'expérience sur le trottoir roulant du changement à Montparnasse : on peut «réaliser l'expérience» avec *Interactive Physics* ! Pour le mouvement des planètes, la classe n'aura pas le choix !

2.3. Multimédia et réseaux

Actuellement des produits de culture scientifique destinés à une diffusion grand public apparaissent. Une éducation à la lecture de ce type

de produits de vulgarisation semble nécessaire. Les différents moyens de perception (images fixes et vidéo, lecture de textes et écoute) sont rassemblés sur un même média, ce qui peut contribuer à développer une curiosité scientifique chez les élèves. Ces produits peuvent d'autre part apporter un éclairage nouveau dans des domaines du programme officiel.

Les journaux actuels proposent de plus en plus fréquemment des articles scientifiques souvent bien documentés. Un CDROM comme le «*Défi de l'Univers*» (Ubisoft) qui traite de la structure de la matière s'est beaucoup vendu (plus de 2 000 exemplaires) dès sa sortie en novembre 1995. Ces faits montrent qu'il y a une demande du public.

Nos élèves vont bientôt disposer de ce type de produit. Leur mode d'utilisation dans le cadre d'un établissement scolaire reste à construire. Mais il devient évident que le maître n'est plus la seule source de connaissances. Un de ses rôles pourra consister à aider les élèves à aborder ce type de produit : une introduction historique pourra s'appuyer sur le CDROM «*Galilée*» (Matra-multimédia-Arborescence). Il s'agit là de développer la curiosité des élèves et de les inciter à continuer cette «lecture» au centre de documentation. Ce type de pratique, encouragé par les programmes actuels, se développera sans doute si le temps nécessaire peut lui être consacré.

De même un travail sur documents en classe peut s'appuyer sur plusieurs sortes de documents, et en particulier sur ces produits. On peut citer deux exemples de banques de données facilitant la recherche d'informations :

– *Radiance* (Prodidact) en est un exemple concernant la radioactivité, utilisable en classes de Première Scientifique et Terminales Littéraire ou de Sciences Économiques et Sociales,

– *CD chimie* (Edusoft), à propos du tableau périodique des éléments, associe textes scientifiques, images fixes ou animées et sons.

Dans un domaine voisin, les grands musées scientifiques, Palais de la Découverte ou Cité des Sciences et de l'Industrie, organisent des expositions temporaires souvent très appréciées. Un des moyens d'en faire bénéficier le plus grand nombre, moyen utilisé pour des expositions artistiques (Cézanne ou Brancusi), consiste à numériser les informations. Le support de communication pourra, au choix, être le CDROM ou un réseau de type Internet. Dans ce cadre, Le Palais de la Découverte, en co-édition avec Quaternaire et Productions Laforêt, édite un catalogue interactif de l'exposition Aspirine. Compte tenu du programme de chimie de TS, on peut penser que cet outil sera très utile aux enseignants et à leurs élèves.

Cet aspect va se développer du fait de l'essor des supports CDROM et des réseaux. Un des premiers usages des réseaux en physique-chimie pourrait être un développement du travail coopératif avec la mise à disposition en ligne de ressources pédagogiques parmi lesquelles l'enseignant choisirait ce qui correspond à ses besoins.

Le réseau Internet a le mérite d'exister. Une des priorités des «autoroutes de l'information» consiste à faire en sorte que le secteur éducatif soit présent. Le Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a ouvert un serveur¹ fournissant des informations générales, dont une liste concernant le réseau scolaire et permettant des accès aux serveurs académiques comme ceux de Bordeaux, Dijon et Toulouse. Ces deux derniers offrent, pour la physique-chimie, des documents pédagogiques téléchargeables. Celui de Dijon propose en plus des images dans le domaine de la mécanique et un logiciel pour l'étude des couleurs et les illusions d'optique.

L'académie de Toulouse² a ouvert dès octobre 1995 un serveur proposant, entre autres, un ensemble assez complet de documents sur les programmes de physique-chimie des classes de seconde à terminales. Ces documents avaient été élaborés par des enseignants de cette académie sous la responsabilité de leur Inspecteur Pédagogique Régional. La consultation de documents en ligne est encore à l'état de projet.

3. QUELQUES QUESTIONS À PROPOS DE CES DÉVELOPPEMENTS

Un enseignant plongé dans ces activités nouvelles a le sentiment d'enrichir son travail au profit des élèves. Un regard extérieur sur la façon dont est perçue cette évolution de la part des élèves semble souhaitable. Les travaux menés par les équipes de l'INRP (Beaufils, 1991), en particulier, apportent un éclairage plus global. De même, une étude (Weil-Barais, 1994) a permis de mettre en évidence l'apport des enseignants ayant eux-mêmes un rôle de formateur. Ces enseignants savent transmettre l'esprit de recherche et de curiosité scientifique qui les anime ; le fait que, pour convaincre leurs collègues, ils leur fournissent des outils «prêts à l'utilisation» modifie cet esprit. Une utilisation pour les élèves sans transposition de documents destinés à la formation «technique», nécessaire, des enseignants conduit à des pratiques pédagogiques où l'élève peut exécuter les actions demandées sans comprendre la démarche expérimentale et le phénomène physique étudié. Cette observation pose des questions en particulier quant

1 www.edutel.fr

2 www.ac-toulouse.fr

à la formation des enseignants. L'usage de l'ordinateur joue aussi peut-être le rôle de révélateur de pratiques pédagogiques. Chacun sait qu'il existe des documents élèves de type «presse-boutons» : ce type de document constitue-t-il une étape dans l'appropriation de l'outil ou un révélateur de démarches pédagogiques préexistantes ?

Ces questions sont importantes car, des réponses qu'on y apporte, dépend la stratégie de formation qu'il convient d'adopter. Des réflexions à ce sujet ont déjà eu lieu (Ministère de l'Éducation nationale, 1994). Un groupe de travail piloté par le bureau des technologies nouvelles pour l'enseignement se penche sur la question de l'utilisation de l'ordinateur en travaux pratiques de physique-chimie. Une publication fera bientôt le point sur cette question en proposant différentes démarches pédagogiques sur des thèmes identiques. Il est probable que les termes de la question évoluent, en particulier avec la généralisation de ce type de pratique.

Pour revenir sur la simulation, la réflexion a conduit de nombreux auteurs et en particulier D. Beaufils (1991, 1995) à insister sur la nécessité pour les élèves de connaître le principe de fonctionnement du modèle utilisé par le logiciel. En effet la simulation dont il est question consiste principalement à faire fonctionner un modèle régissant un phénomène physique afin de visualiser des grandeurs caractérisant le phénomène étudié dans des situations variées. Cet aspect est tout à fait important, y compris pour les enseignants ; il doit être intégré dans les programmes et pris en compte dans les formations. L'enseignant doit pouvoir disposer d'informations sur le modèle et ses limites. Il serait dangereux de «faire une confiance aveugle» aux résultats donnés par la machine. On sait que les méthodes numériques peuvent produire des résultats aberrants. Le point important reste que l'enseignant doit pouvoir disposer, à ce niveau d'enseignement, d'outils simples adaptés à ses besoins en physique et chimie.

4. CONCLUSION

L'ATIDEX est aujourd'hui présent comme instrument pédagogique irremplaçable dans la plupart des lycées, avec des équipements qui permettent de plus en plus une réelle pratique par les élèves. Ces développements ont servi de révélateur pour de nombreux aspects de l'enseignement expérimental et peuvent aider à préciser les objectifs de cet enseignement. Les nombreux échanges entre les différents organismes intéressés par ce sujet, les académies et les services du Ministère de l'Éducation nationale contribuent à assurer le suivi de cette évolution.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUFILS D. (1991). *Ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques, propositions pour la construction d'activités, première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves de lycée*. Thèse, Université Paris 7, LIREST.
- BEAUFILS D. (1995). *Propositions de contribution aux programmes des classes de lycée*. Paris, INRP.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Hors-série du 24 septembre 1992*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- EINSTEIN A. (1990). *Conceptions scientifiques* (première édition 1940). Paris, Flammarion.
- GROUPE EVARISTE (1995). *Physique-chimie, physique et électronique*. Reims, CRDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1994). *La physique, la chimie, l'ordinateur*, volume 1, pp. 9-11. Reims, CRDP.
- UNION DES PHYSICIENS (1994). *Actes des Sixièmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, 20-22 mars 1994. Paris, UDP et INRP.
- WEIL-BARAIS A. (1994). *Étude de l'impact de l'utilisation d'outils informatiques par les élèves en sciences physiques*. Paris, Université Paris 7, LIREST.

On peut citer également :

BULLETINS DE L'UDP (Union des Physiciens, 44 Boulevard Saint-Michel, 75270 Paris cedex 06) ; parmi les plus récents numéros :

n° 754 (mai 1993) spécialement consacré à l'acquisition et au traitement de données.

n° 755 (juin 1993) : deux articles à propos de la modélisation ; un article à propos du traitement des incertitudes.

n° 758 (novembre 1993) : deux articles à propos de l'utilisation des images ; un article à propos du logiciel Cristal.

n° 759 (décembre 1993) : de nombreux articles correspondant à la mise en place de l'option Informatique et Électronique en Sciences Physiques.

n° 761 (février 1994) : de nombreux articles correspondant à la mise en place des nouveaux programmes de seconde (traitement du son...).

n° 762 (mars 1994) : un article à propos des capteurs CCD ; deux articles à propos des moteurs (nouveau programme de Première Scientifique).

n° 776 (juillet 1995) : un article à propos d'Internet ; un article à propos des couples acide base.

n° 778 (novembre 1995) : un dossier rassemblant les propositions de l'UDP à propos de «l'introduction d'outils informatiques et audiovisuels dans l'enseignement des sciences physiques au lycée» et de la «formation des maîtres à l'utilisation de moyens informatisés».

Un grand nombre de brochures sont publiées dans les académies (CRDP, MAFFEN ou centre de ressource). Elles font état des nombreux travaux réalisés dans les académies.