

Daniel Cabrol¹
Alain Perche²

Utilisation des ordinateurs dans l'enseignement de la chimie aux États-Unis

La prédominance des États-Unis dans le domaine de l'Enseignement Assisté par Ordinateur (E.A.O.) se manifeste :

- en tant que leaders dans la production et l'utilisation de micro-ordinateurs, dès leur apparition sur le marché, il y a environ 5 ans : le nombre de micro-ordinateurs disséminés tant chez les particuliers que dans les établissements scolaires est plus élevé aux États-Unis que partout ailleurs;
- en tant que pionniers de l'utilisation de l'informatique dans l'enseignement : voici plus de quinze ans que le système PLATO est développé et largement distribué, y compris hors des frontières américaines; on sait aussi que la percée de l'E.A.O. a atteint de nombreux secteurs de la formation professionnelle et continue.

En ce qui concerne plus particulièrement l'enseignement de la chimie, l'importance du phénomène peut se percevoir :

- par le grand nombre d'articles publiés dans les périodiques spécialisés, essentiellement dans le *Journal of Chemical Education*;
- par l'effort de l'American Chemical Society (A.C.S.) qui a mis en place un groupe spécialisé chargé de l'organisation annuelle de stages de formation; ce groupe s'intitule « Task Force on Computers in Chemical Education »;
- par l'importance des sessions consacrées à l'utilisation des ordinateurs dans les meetings nationaux ou internationaux (meetings de l'A.C.S., de l'I.U.P.A.C., etc.);
- par l'intérêt manifesté par les éditeurs même traditionnels (comme John Wiley and Sons) qui proposent depuis peu des didacticiels parmi leurs produits.

Le groupe de travail ReCoDiC (*) sur l'E.A.O. (rapport d'activité disponible auprès de Daniel Cabrol) a essentiellement consacré ses deux premières années d'existence à la structuration d'un réseau d'informations et à l'organisation de plusieurs stages de formation. Au moment de définir les stades ultérieurs de son développement (logiquement, il s'agirait de produire et de diffuser, suivant des modalités qui restent à définir, un ensemble de didacticiels), il importe d'être informé aussi concrètement que possible :

- de l'impact réel de l'E.A.O. dans la pratique pédagogique aux États-Unis;
- des tendances concernant l'utilisation effective des matériels;
- de la nature, de la variété et de la qualité des didacticiels disponibles et utilisés;
- de la politique suivie tant en matière de production et de diffusion de didacticiels qu'en ce qui concerne la formation des enseignants.

Nous avons donc saisi l'occasion de la 7^e Conférence biennale sur la « Chemical Education » organisée par l'A.C.S. pour mener une enquête; cette enquête a été complétée à l'Université du Maryland et auprès des responsables de la Division enseignement de l'A.C.S.

Quasiment tous les « leaders » en activité dans le domaine de l'E.A.O. en chimie ont été interrogés. Il faut toutefois noter que le temps relativement court passé avec nos divers interlocuteurs peut expliquer le caractère parfois superficiel des appréciations émises. Par conséquent, plusieurs de nos remarques auront un caractère important de subjectivité qui sera mis en relief par l'utilisation d'une typographie différente.

A. Situation pratique de l'E.A.O. dans les Universités américaines

Rappelons que le mot « College » correspond à nos Universités (sans 3^e cycle) et que « High School » s'applique le plus souvent au second cycle de notre enseignement secondaire.

Le tableau 1 peut donner une idée de la situation dans les Universités où l'usage d'ordinateurs dans l'enseignement de la chimie atteint une taille critique, significative d'une volonté institutionnelle de développer cette technologie. L'impression qui peut ressortir de ce tableau doit tenir compte de ce que les animateurs respectifs sont tous très engagés dans l'E.A.O. en chimie, qu'ils sont tous auteurs de didacticiels largement distribués dans les circuits commerciaux (voir C) et que, par conséquent, la situation apparaissant dans ce tableau est beaucoup plus favorable que pour l'ensemble des universités américaines, dans lesquelles le nombre moyen de micro-ordinateurs ou de terminaux installés utilisés dans les départements de chimie est plus faible. En revanche, il semble que la plupart des High School disposent de une ou deux machines.

Dans les Universités figurant dans le tableau 1, l'E.A.O. est

généralement utilisé en 1^{er} cycle, là où un nombre élevé d'étudiants sont concernés. Le nombre de terminaux n'est toutefois pas très grand et on ne va jamais au-delà d'un terminal pour 30 étudiants, la moyenne se situant entre 1 pour 50 et 1 pour 100. Le mode majeur d'utilisation est le « Remedial » que l'on peut traduire par soutien, l'étudiant n'étant invité à revoir ses connaissances en utilisant l'ordinateur que s'il ne les a pas assimilées par les voies classiques (cours, TD, TP). Il semble que dans la majorité des cas, la rencontre étudiant-ordinateur se fasse dans des conditions de libre service en l'absence d'enseignant. Le

(*) L'association « Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie » (ReCoDiC), qui a financé ce voyage d'études, regroupe les enseignants de chimie du Supérieur concernés par les problèmes pédagogiques spécifiques à leur discipline. Ses activités concernent, entre autres, les centres documentaires, les nouveaux moyens d'enseignement (E.A.O. et multimédia), les relations enseignants-étudiants et Universités-Industries, les problèmes de didactologie (voir L'actualité chimique, décembre 1982, p. 30).

¹ Centre de Recherche Pédagogique et de Rénovation Didactique en Chimie, Université de Nice, Parc Valrose, F 06034 Nice Cedex.

² Laboratoire de cinétique et chimie de la combustion, Université de Lille I, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.

Tableau 1

Établissement	Personne interrogée	Nombre d'étudiants	Type d'enseignement	Type de programmes utilisés	Nombre de machines	Remarques
Michigan State Univ.	W. Butler	1 200, 1 ^{er} cycle	soutien complémentaire	drill and practice simulation	32 PET	32 PET interconnectés sur 1 BUS donnant accès à un disque de 1 M byte
University of Illinois, Urbana	S. Smith	environ 1 000 (100 000 h étudiant/an)	soutien (400 ét.) totalement intégré au cursus en chimie organique (600 étudiants)	tutoriels, drill and practice, simulation, jeux	32 consoles PLATO	transpositions des didacticiels PLATO sur Apple par S. Smith en cours
Eastern Michigan University, Ypsilanti	J. Moore	400-500	soutien	divers	7 PET, 1 APPLE	même système que celui utilisé par W. Butler
Wichita State University Kansas	R. Cornelius		cours pour débutants, cours organo-bio.	tutoriel drill	19 APPLE	aspect graphique, animation et couleur très développés
University of Texas, Austin	J. Smits (J. Lagowski)	1 600, 1 ^{er} cycle, 1 h/semaine	« PRELAB »	simulations decision making colles (pas pour examens)	24 APPLE, 24 TRS 80	
Oklahoma State Univ., Stillwater	J. Gelder	2 200 en chimie générale, 350 génie chim.	illustration du cours sur écran géant « PRELAB »	simulations calcul au labo.	6 APPLE	refus du tutoriel pour raisons pratiques
Canterbury School, New Milford, Connecticut (High School)	P. Cauchon	300	soutien	drill and practice simulation	2 APPLE, 5 PET	
Ohio State Univ.	R. Ouellette	3 000 en libre service	?	divers	24 PET	tests sur l'amélioration des performances des étudiants

mode simulation est parfois exploité de façon originale avant l'expérimentation réelle au laboratoire; lors de ces « Prelab Simulations », l'étudiant utilise l'appareillage dessiné sur l'écran, identique ou très proche de celui qu'il trouvera au laboratoire quelques heures ou quelques jours plus tard. Enfin, l'emploi d'écran géant en couleurs permet d'illustrer de façon particulièrement attrayante un cours magistral en amphithéâtre.

Pour des raisons matérielles le mode tutoriel est assez peu utilisé : de par le temps important qui doit être consacré à chaque étudiant, il semble très difficile de l'adopter quand les effectifs sont élevés.

B. Tendances en ce qui concerne les matériels

Depuis 4 ans, les micro-ordinateurs ont largement remplacé l'ordinateur central (mainframe) et la technique du temps partagé (time sharing). Comme on peut le constater sur le tableau 1, on retrouve les trois principaux types de micros, Commodore, TRS 80 et APPLE. Il semble que la fréquence d'utilisation des Commodore et des TRS 80 soit surtout due à leurs coûts unitaires plus faibles. De plus, si le BUS IEEE des PET permet l'acquisition et le traitement de données, il favorise aussi l'organisation en grappe partageant la ressource d'une grosse mémoire de masse. La disponibilité récente du dispositif OMNINET pour Apple permet également ce regroupement.

C'est pourtant sur l'APPLE que se développent la majorité des didacticiels récents et des projets en cours. Il semble que cette

En revanche, le mode tutoriel est requis dans le domaine de la formation continue. De même, les éditeurs proposent des cours complets du niveau premier cycle. Ces didacticiels seront brièvement décrits au paragraphe D.

Enfin, l'utilisation de l'ordinateur pour faire passer les examens semble assez peu développée, tout au moins dans les universités figurant au tableau 1. Il semble pourtant que cet usage de l'ordinateur devienne plus fréquent et qu'au moins une vingtaine de départements de chimie disposent de questions d'examens ou de colles pouvant être corrigées par une machine.

préférence soit due aux possibilités d'ordre graphique puisque la majorité des programmes fait appel au graphisme fin, à la couleur et très largement à l'animation (sans oublier le son). D'autre part, le développement et la diffusion de logiciels spectaculaires sur APPLE semble faire jouer un processus en chaînes ramifiées en faveur de ce type de matériel : on s'équipe en APPLE parce que l'on trouve sur le marché un produit particulièrement attractif et l'existence de ce parc important encourage la production de programmes. Enfin, il apparaît que le couplage d'instruments de mesures simples (thermo-résistances, pH mètres...) par l'intermédiaire de manettes de commande (« Paddles » qui sont disponibles en standard sur APPLE) facilement réalisable est un argument supplémentaire en faveur de la diffusion de ce type d'ordinateur.

C. Didacticiels disponibles et utilisés

Avant de passer en revue les logiciels divers classés par activité pédagogique, faisons trois remarques préliminaires :

1. le temps consacré aux divers didacticiels était nettement insuffisant pour porter une appréciation motivée;
2. le public visé par ces didacticiels correspond aux High Schools (2^e cycle secondaire), au 1^{er} cycle des universités et à la formation continue. On remarque l'absence quasi totale de produits concernant le second cycle universitaire;
3. la structure des programmes consultés est très simple; elle est soit bouclée (boucle simple), soit linéaire ou encore fait appel à une sélection dans un menu. Aucun programme ne tient compte des réponses ou des choix antérieurs de l'étudiant pour établir la suite du traitement. Le cheminement des élèves n'est jamais enregistré et quand un diagnostic est proposé c'est presque toujours sous forme de score (pourcentage de réponses exactes par exemple). Enfin, sauf exception, il semble qu'il y ait peu de travaux d'évaluation.

Drill and practice

Les programmes faisant appel à ce type d'activité pédagogique sont considérés :

- soit comme un répétiteur permettant de renforcer la maîtrise d'acquisitions fondamentales;
- soit comme soutien pour les étudiants en difficultés (« Remedial »).

Dans ces programmes, il est rare que les « erreurs classiques » soient reconnues et convenablement corrigées; de même, des réponses absurdes ne provoquent pas de réactions particulières.

Tutoriel

Dans ce type de programmes, l'exposé est généralement linéaire (du type Skinner) et entrecoupé de questions le plus souvent à choix binaire.

Le traitement de l'erreur est quasiment inexistant; dans la plupart des cas, on retourne à la question posée ou bien on fournit la réponse exacte.

D. Élaboration et diffusion de didacticiels

Un certain nombre de facteurs, culturels ou institutionnels, peuvent influencer sur l'élaboration et le mode de diffusion des programmes :

Facteurs culturels

- L'image de la technologie est extrêmement positive dans la société américaine.
- Le raz de marée des vidéogames fait que l'ordinateur est communément associé à la notion de jeu.
- L'esprit de compétition individuelle certainement plus développé aux États-Unis qu'ailleurs sera sollicité par l'attribution de scores, limites de temps, encouragements personnalisés, etc.
- Le comportement de consommateur est remarqué chez une importante fraction de congressistes : les programmes recherchés doivent donc être prêts à l'emploi, c'est-à-dire comprendre outre le programme, le livret de l'élève et le guide du maître et laisser aussi peu d'initiative que possible à l'enseignant utilisateur.

Facteurs institutionnels

- La structure et l'organisation pédagogique ont pour conséquence la création d'un marché potentiel important pour les didacticiels destinés à la fin du secondaire et aux premières années d'université.

Simulation

Il est très largement fait appel dans ces programmes aux possibilités graphiques et d'animation des micro-ordinateurs, que ce soit pour représenter schématiquement de façon attractive le dispositif expérimental ou pour l'exposition du déroulement de l'expérience et de ses résultats sous forme de courbes.

L'interactivité est mise à profit pour permettre à l'étudiant de déclencher, de modifier, d'arrêter le déroulement de la simulation.

Assez peu d'initiative est laissée à l'étudiant bien que les expériences soient généralement très simples. Il n'est pas demandé d'élaborer la moindre stratégie et, au contraire, l'utilisateur est soigneusement guidé dans sa démarche. (Il existe des « Interactive Laboratory Manuals ».) Enfin, les notions de modèle et de limites de validité du modèle semblent totalement occultées.

Illustration de cours

Ce type d'utilisation impose soit l'utilisation d'un grand écran, soit de circuit vidéo.

Le plus souvent, les possibilités graphiques sont largement utilisées pour permettre, par exemple :

- la simulation de l'expérience en même temps que l'exposé théorique de la loi correspondante;
- l'illustration de mécanismes réactionnels;
- la réalisation d'une expérience avec tracé de courbe simultanément;
- la visualisation en 3 dimensions de structures moléculaires complexes (plusieurs programmes permettent de visualiser le déplacement ou la rotation de molécules, avec grossissement localisé, etc.).

Jeux chimiques

Le véritable phénomène de société qu'est l'invasion des jeux vidéo aux États-Unis n'a pas épargné la chimie. Ainsi retrouve-t-on l'inspiration de « PAC-MAN » dans un labyrinthe où une fiole poursuivie par un bécher doit aller se remplir d'un produit et le faire réagir avec un autre judicieusement choisi. De même, CHEMRAIN est une version chimique de « SPACE-INVADORS ». Certains didacticiels font même appel à des « vidéo-games » qui n'ont rien de chimique : il s'agit simplement d'une récompense pour l'étudiant ayant obtenu un bon score au « Drill and practice » qui précédait.

- Parmi les raisons de l'utilisation presque exclusive en « High School » et « College », il faut sans doute également tenir compte du niveau de compétence parfois insuffisant chez les professeurs du secondaire et du taux d'encadrement trop faible selon les critères américains dans les 1^{er} cycles des universités. (Ces remarques nous ont été maintes fois rapportées par des collègues américains.)
- Enfin, le niveau général des élèves nous a été décrit comme très faible, avant toute spécialisation, par les responsables de la division enseignement de l'A.C.S. S'ajoutant à l'hétérogénéité des publics, ce facteur peut expliquer la nécessité des programmes de soutien.
- Citons encore le statut des enseignants (sans garantie d'emploi pendant les dix premières années de leur carrière) qui les pousse vers les formes d'innovations les plus diverses (technologiques en particulier).

Ces différents facteurs peuvent expliquer la nature de la majorité des didacticiels que l'on peut trouver aux U.S.A. Certains d'entre eux, en particulier ceux qui concernent les aspects concurrentiels et commerciaux, permettent de comprendre les difficultés rencontrées lors des essais de coordination au niveau national.

Une expérience récente en ce qui concerne l'élaboration et la diffusion de didacticiels est le projet SERAPHIM (Systems Engineering Respecting Acquisition and Propagation of Heuristic Instructional Materials) émanant de la National Science Foundation.

Le but de ce projet est de mettre sur pied un réseau pour la dissémination de matériaux pédagogiques en chimie, la plupart d'entre eux faisant appel à l'ordinateur et surtout au micro-ordinateur. Le projet est censé élaborer des procédures pour solliciter, évaluer, publier et distribuer les modules instructionnels. Il devra également identifier quiconque ayant des buts pédagogiques pouvant s'inscrire dans le cadre du projet et solliciter sa collaboration. Les produits seront testés dans les classes et les laboratoires et les réflexions des utilisateurs seront publiées dans le *Journal of Chemical Education*.

SERAPHIM organisera également plusieurs ateliers de formation à l'E.A.O. (cet aspect sera examiné plus particulièrement au paragraphe suivant) ainsi que des « concours de programmes » dotés de prix substantiels.

Une autre facette importante de SERAPHIM sera d'envisager la possibilité d'utiliser les réseaux de time-sharing sur tout le territoire américain comme moyen d'échange d'idées, de transfert de software et de transmission des programmes.

Enfin, il est fait appel aux cadres de l'industrie privée pour qu'ils réalisent des didacticiels à caractère appliqué (simulations d'usines, d'ateliers de fabrication, etc.).

E. Formation des enseignants

De nombreux stages de formation à l'E.A.O. sont proposés par la plupart des universités américaines.

Bien que ces recyclages soient assez onéreux (il en coûte environ 300 dollars pour une session d'introduction générale à la micro-informatique, soit en moyenne 100 dollars la journée), leurs coûts sont en général intégralement supportés par les enseignants eux-mêmes.

Il semble que l'essentiel de ces stages soit consacré aux aspects « techniques » de l'E.A.O., c'est-à-dire surtout aux techniques de programmation, à l'étude des langages auteurs et à l'interfaçage. La réflexion pédagogique apparaît toutefois dans certains « workshops » plus particulièrement consacrés à la sélection et à l'évaluation des didacticiels. Cette impression générale peut être erronée compte tenu du caractère extrêmement fragmentaire des informations recueillies; elle se fonde sur

Conclusions

1. L'E.A.O. en chimie est largement utilisé dans les universités américaines mais dans des conditions matérielles à peine meilleures qu'en France.

2. Le mode d'utilisation majeur est le soutien pour un certain nombre de raisons :

- niveau faible des étudiants;
- réduction du nombre d'utilisateurs quand on dispose de peu d'ordinateurs.

3. La plupart des autres utilisations (simulations pré-laboratoire, « jeux chimiques », illustrations de cours) fait largement appel aux possibilités graphiques et d'animation de l'ordinateur. De ce fait, le type d'ordinateur le plus largement utilisé est l'APPLE.

4. Il n'y a, à notre connaissance, qu'une tentative récente pour organiser la production et la dissémination de didacticiels : le projet

S'il semble difficile d'apprécier objectivement les chances de succès du projet SERAPHIM, on peut toutefois constater qu'il est tout à fait dans le même esprit que celui des récents éditoriaux de J. Moore () demandant la coopération et surtout l'information entre les divers auteurs.*

En ce qui concerne la diffusion de didacticiels, le développement d'organismes de diffusion de plus en plus nombreux semblerait démontrer la rentabilité du marché. On assiste en effet à l'évolution de certains éditeurs déjà fortement établis dans la diffusion d'ouvrages d'enseignement classiques en chimie (Wiley, Mac Millan par exemple) qui développent à présent un secteur spécialisé dans l'E.A.O. (souvent avec couplage des deux médias, livre/disquette), et à la naissance de nouveaux éditeurs spécialisés (Programs for Learning, COMPRESS...).

De plus, en aval de l'éditeur (qui établit les relations avec l'auteur, assure la production du document et possède éventuellement les copyright), se mettent en place des organismes de diffusion-commercialisation parallèles voire concurrents (CONDUIT, M.E.C.C., l'A.C.S...).

Notons encore que la nature commerciale de ces didacticiels semble avoir une influence importante sur leur conception. En particulier, le copyright impose souvent de protéger le logiciel contre les copies et contre les modifications, donc de le figer complètement.

les documents provenant de l'université de Maryland, du T.E.R.C. (Technical Education Research Centers) et de la Task Force on Computers de l'A.C.S.

L'autre voie de formation des enseignants passe par la lecture des journaux spécialisés : outre les périodiques traitant de la didactique, le *J. Chem. Ed.* et ses rubriques « Computer Series » et « Bit and Pieces », *Computer in Education* et *Computers and Chemistry*, ou les revues spécialisées en micro-informatique. Il faut bien sûr encore ajouter à cette liste les publications à diffusion plus restreinte (comparables au bulletin de liaison ReCoDiC) qui voient le jour dans de nombreuses universités et à l'A.C.S. (*Computers in Chemical Education Newsletters*).

SERAPHIM. Pour l'instant, la diffusion est essentiellement commerciale.

5. Il apparaît difficile d'avoir une opinion en ce qui concerne l'impact réel de l'E.A.O. dans la pratique pédagogique aux États-Unis, non seulement du fait de la brièveté des contacts que nous avons pu nouer mais, surtout, à cause de l'absence quasi totale de procédures d'évaluations (dont beaucoup d'enseignants ne semblent pas ressentir le besoin).

Notre impression générale (peut-être superficielle) est que les auteurs se laissent plus facilement séduire par les gadgets techniques plutôt que par la création de situations d'enseignement nouvelles visant à réduire des difficultés pédagogiques identifiées.

(*) Éditeur de la rubrique *Computer Series* au *Journal of Chemical Education*.