

L'informatique et l'enseignement de la chimie

par Monique SCHWOB
Lycée G. de la Tour, Metz
INRP, 75000 Paris

INTRODUCTION

Les logiciels d'enseignement appliqués à la chimie ont été assez peu nombreux jusqu'à ces dernières années. On peut proposer plusieurs explications à cette situation. En premier lieu, notre enseignement renferme une part importante de chimie expérimentale qualitative et descriptive qui ne se prête pas facilement à une expérimentation assistée par ordinateur. Sur le plan expérimental, l'aspect quantitatif n'intervient que très ponctuellement sous la forme d'un ou deux dosages volumétriques acido-basiques en classe de seconde, d'oxydoréduction en classe de première. C'est seulement en terminale que l'introduction des notions de pH et de pK permet de proposer un plus grand nombre de TP quantitatifs.

Sur le plan de l'enseignement théorique, le manque d'outils graphiques simples et puissants interdisait de proposer des représentations convaincantes concernant la structure de la matière (atomes, molécules, structures cristallines...) qui représente pourtant une part importante de nos programmes. La réaction chimique, la chimie organique, envisagées dans le second cycle sous un aspect assez fonctionnel et descriptif ne semblaient pas non plus très propices au développement d'outils informatiques.

En revanche, on assiste depuis quelques années à un développement important d'outils informatiques dans le domaine de la chimie. Ce sont quelques-unes de ces applications que nous allons décrire dans cet article.

Dans une première partie, nous montrerons comment un même thème peut faire l'objet de logiciels très variés mettant en œuvre des démarches pédagogiques totalement différentes. Dans une deuxième

partie, nous décrirons quelques applications illustrant les apports possibles de l'informatique dans de nombreux domaines de la chimie.

UN THÈME, PLUSIEURS APPROCHES : ACIDES / BASES / pH

Les notions d'acide, base et pH sont un des thèmes qui, dès les débuts de l'informatique pédagogique, semblent avoir inspiré un grand nombre d'enseignants de chimie. Il existe donc de très nombreux logiciels sur ce sujet. Nous voudrions profiter de cette convergence pour montrer qu'un même thème peut être abordé sous des angles totalement différents et que l'apport de l'informatique est spécifique à chaque type d'utilisation.

Ce sujet a déjà fait l'objet d'une journée de présentation de logiciels et de manipulations dans le cadre des troisièmes journées MIEC («Méthodes Informatiques dans l'Enseignement de la Chimie») qui se sont tenues à Orsay en septembre 1987* [1].

L'ordinateur pour manipuler

On a déjà décrit dans ce bulletin [2] le principe général des manipulations de dosage automatique. L'une de leurs caractéristiques essentielles est leur degré d'automatisation qui se justifie souvent par des considérations techniques et financières mais qui entraîne également des conséquences pédagogiques.

Certaines de ces manipulations sont entièrement automatisées : mesure du pH, ajout de réactif, agitation de la solution (SERAPHIN (1)). Nous avons déjà signalé que ce type de manipulation est un des seuls exemples, dans l'enseignement secondaire classique, de manipulation de régulation d'un système par ordinateur : en plus de l'acquisition de mesures (volume, pH), rôle désormais classique de l'ordinateur, celui-ci pilote également la manipulation : gestion de l'agitateur magnétique et commande de l'ajout de réactif dont la valeur peut être asservie à la variation du pH.

* Les journées MIEC sont des rencontres universitaires qui ont lieu tous les deux ans (1985 : Lille, 1987 : Orsay, 1989 : Pau). A chaque rencontre, l'une des sessions est plus particulièrement consacrée à des sujets intéressant l'enseignement secondaire et les enseignants y sont bien sûr conviés. L'annonce paraît dans le B.U.P. Prochaines rencontres : Mulhouse du 12 au 14 septembre 1991. Pour tout renseignement, contacter M. SCHWOB, 24 rue Léon Barillot, 57158 MONTIGNY Les METZ.

D'autres manipulations (le-pH (2)) ont un degré d'automatisation moindre : l'ajout de réactif est fait manuellement et les valeurs correspondantes sont entrées au clavier [3].

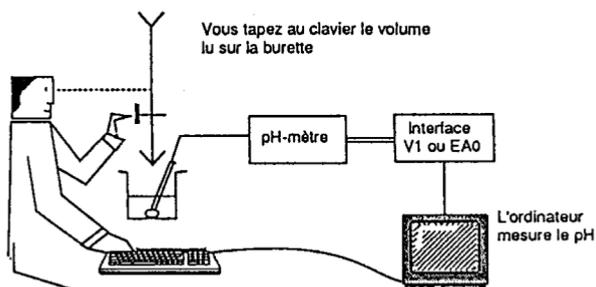


Figure 1

Indépendamment de ce degré plus ou moins poussé d'automatisation du point de vue expérimental, le logiciel lui-même peut être soit très «directif» et fournir de façon linéaire toutes les indications nécessaires à sa mise en œuvre (1) soit de type outil (2) et les utilisateurs gèrent alors eux-mêmes leur progression à l'aide de menus.

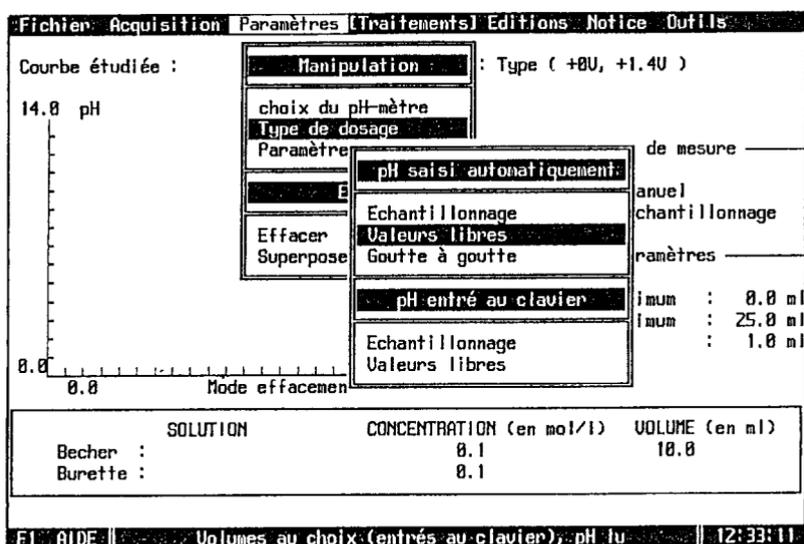


Figure 2

Dans tous les cas, les traitements proposés à l'issue de la manipulation proprement dite sont très variables : accès à des fonctions de type tableur gérées par l'utilisateur, calcul de courbes dérivées (premières et secondes) de la courbe $\text{pH} = f(V)$, calcul du point d'équivalence...

Signalons en outre que les mêmes manipulations peuvent être réalisées avec des logiciels généraux d'acquisition de données (REGRESSI (3) LABO (4)).

Les objectifs pédagogiques de l'utilisation de tous ces dispositifs sont de trois ordres :

– acquisition de savoirs-faire expérimentaux : il semble important que des élèves issus de l'enseignement secondaire aient rencontré au cours de leurs études quelques dispositifs expérimentaux automatisés. Les manipulations de dosages automatisés possèdent, sous une forme relativement simple, les principales fonctions caractéristiques de ces dispositifs :

- commande automatique de systèmes physiques,
- mesure automatique de diverses grandeurs,
- asservissement des mesures à certains paramètres expérimentaux,
- traitements graphiques et/ou numériques des mesures, possibilité de stockage des mesures...

– maîtrise des activités de «mesurage» : l'utilisation de tels dispositifs peut permettre d'améliorer la qualité des mesures elles-mêmes : d'une part en améliorant la précision intrinsèque de la mesure (liée aux capteurs, à l'interface, au logiciel...) ; d'autre part en donnant aux élèves l'habitude de critiquer leurs mesures, grâce à la disponibilité d'outils de traitements rapides et performants et en leur offrant la possibilité de refaire très rapidement des manipulations. Le « mesurage » pourrait alors devenir, à moyen terme, l'un des objectifs de notre enseignement expérimental.

– disponibilité d'outils didactiques pour l'enseignant : même pendant les cours théoriques, l'enseignant peut accéder à des mesures réelles (issues d'acquisitions rapides réalisées devant les élèves ou de fichiers créés pendant les TP) et à une visualisation immédiate - le plus souvent graphique - de ces mesures. Il dispose alors d'un support expérimental qui lui permettra selon les cas de confronter très rapidement le modèle théorique déjà construit à l'expérience ou d'élaborer ce modèle à partir des données expérimentales.

L'ordinateur pour simuler

L'ordinateur peut permettre de simuler une manipulation de façon très concrète (un peu au sens des simulateurs de vol de l'aéronautique) ou de simuler des résultats de manipulations. Les dosages ont donné lieu à des logiciels de simulation correspondant à ces deux approches très différentes. Nous allons décrire un exemple de chaque type.

De la simulation «réaliste»...

Le logiciel «SIMPH3» (5) se présente comme une succession de pages d'écran graphiques correspondant, de façon très concrète, aux diverses opérations nécessaires à la réalisation d'un dosage. Il est destiné à être utilisé en phase d'apprentissage, en parallèle avec la réalisation d'un dosage réel.

Grâce à un menu sous forme d'«icônes», l'utilisateur peut simuler l'essentiel des activités qu'il sera amené à réaliser au laboratoire :

- mise en marche des appareils (pHmètre, agitateurs),
- remplissage ou vidage du bécher ou de la burette,
- déplacement de la verrerie, d'électrodes,
- modifications des conditions expérimentales...

La simulation n'est pas entièrement libre, une première évaluation du logiciel ayant montré que la formule n'était pas satisfaisante [4]. La version actuelle propose donc un guidage et des messages en cas d'erreurs.

Les objectifs d'un tel logiciel sont de plusieurs ordres :

- des objectifs destinés à favoriser la prise de décision et l'autonomie des étudiants (choix du matériel, des solutions, des volumes...),
- des objectifs plus traditionnels en relation avec la précision des mesures.

...à une simulation plus théorique

Toute autre est la simulation proposée par le logiciel SIMUL-TIT (6) complétée par le logiciel TOT (7). On trouvera une description détaillée de certaines de ses utilisations dans des articles déjà publiés [5] dont nous tirons l'exemple ci-dessous.

Ce logiciel permet de tracer les variations au cours d'un titrage de différents types de grandeurs, observables (pH par exemple) ou plus difficilement observables (concentration de certaines espèces par exemple).

L'utilisateur fixe les conditions du dosage qu'il souhaite simuler, par exemple un dosage d'ions carbonate par l'acide chlorhydrique. On obtient immédiatement la courbe théorique $\text{pH} = f(V)$ que l'on pourra éventuellement comparer avec une courbe expérimentale réalisée dans les mêmes conditions.

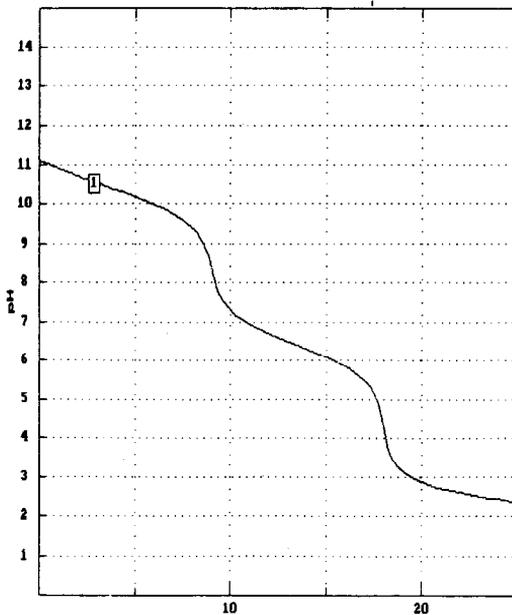


Figure 3 : Courbe théorique $\text{pH} = f(V)$, dosage des carbonates.

On pourra également obtenir la courbe donnant les variations de concentration en carbonate, hydrogénocarbonate et dioxyde de carbone au cours du dosage ce qui permettra d'en détailler le principe.

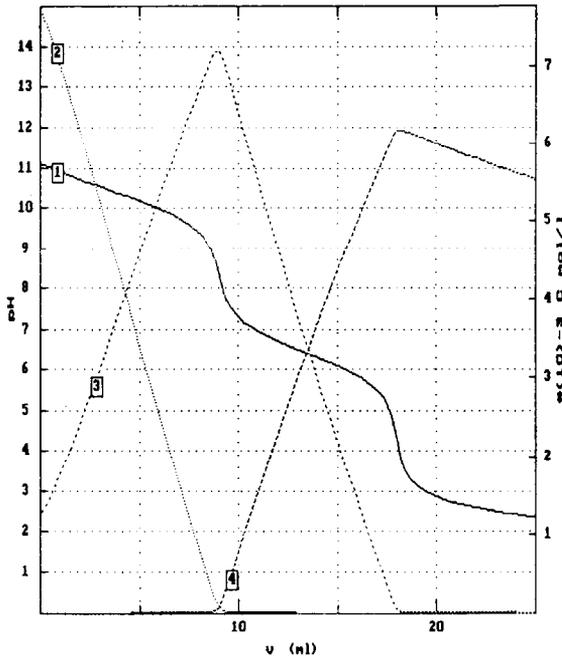


Figure 4 : Variation de la population des espèces en cours de dosage :

1. pH 2. (carbonate) 3. [hydrogénocarbonate] 4. [dioxyde de carbone].

On pourra également aller plus loin en faisant tracer la courbe donnant la proportion des espèces majoritaires en fonction du pH, qui permettra de discuter sur les conditions nécessaires à la préparation d'une solution de pH= 10 par exemple.

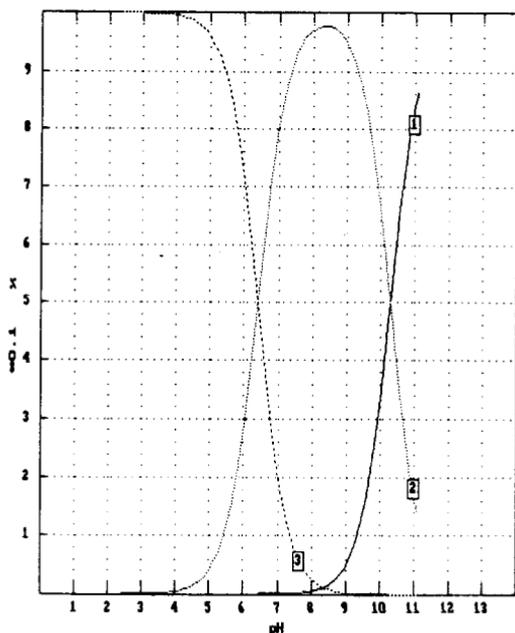


Figure 5 : % des espèces majoritaires en fonction du pH :

1. %carbonate 2. %hydrogénocarbonate 3. %dioxyde de carbone.

Sur le plan pédagogique, on voit que les utilisations sont multiples : elles peuvent précéder le dosage réel pour en expliquer le principe et en discuter les conditions ; elles peuvent suivre le dosage pour en évaluer la validité et en améliorer l'interprétation ; elles peuvent aussi, par l'accumulation en un temps très bref de nombreuses « expériences » (où paramètres, conditions expérimentales, solutions... peuvent varier), permettre de disposer de toutes les données nécessaires à une élaboration plus théorique. La recherche de modèles chimiques des phénomènes prend le pas sur des développements mathématiques souvent trop importants.

On l'aura compris, l'intérêt de ce type de simulation réside dans la rapidité de l'outil, la disponibilité de grandeurs inaccessibles à l'expé-

rience, l'obtention de résultats graphiques soignés. On trouvera d'autres exemples d'utilisation en particulier du niveau de l'enseignement supérieur dans des articles déjà publiés [6].

L'ordinateur pour calculer

On a déjà signalé que la plupart des logiciels d'acquisition intègrent des outils de traitement plus ou moins élaborés. Nous en avons vu un exemple (dérivation) au début de cet article.

Les fonctions de traitement peuvent également faire l'objet de logiciels sans fonction d'acquisition, les données étant alors entrées manuellement ou sous forme de fichiers.

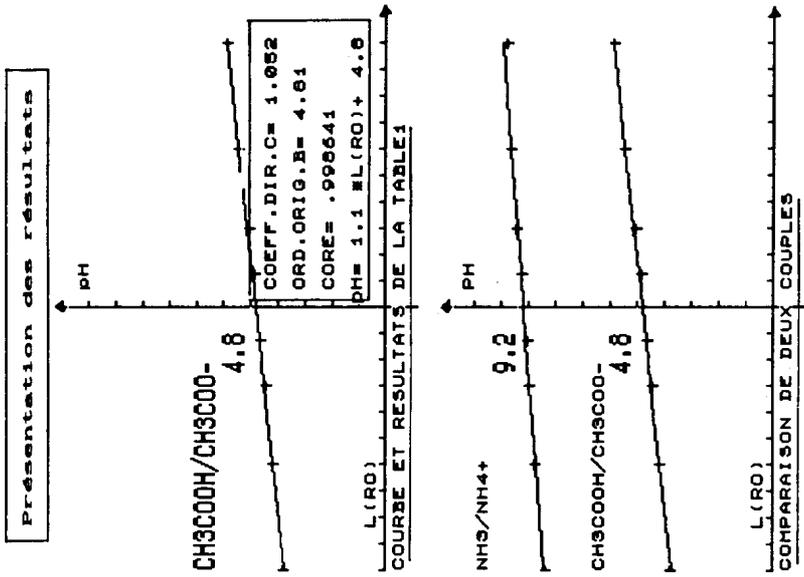
L'exemple du logiciel NEUTRA (8) qui permet une étude complète des notions d'acide - base - pH - pK du programme de terminale des lycées [7] est intéressant à évoquer.

L'ensemble du cours est bâti sur une succession de TP traditionnels exploités par ordinateur au cours de séances de travaux dirigés. La notion de pK par exemple est introduite à l'issue d'une séance de TP où les élèves ont, par groupe, étudié différents couples acide-bases. Les mesures sont alors introduites dans l'ordinateur qui affiche immédiatement les courbes et leurs équations (voir figure 6).

Ceci permet une critique éventuelle de l'expérience et une correction si nécessaire. Dans un deuxième temps, la mémorisation de toutes les mesures permettra de donner les réponses au devoir fait en travaux dirigés. L'ordinateur, muni d'un grand écran, joue alors le rôle d'un rétroprojecteur assorti d'une calculatrice intégrée.

Les mêmes applications peuvent être réalisées avec des outils plus généraux du commerce de type tableur-grapheur. Le principe et les objectifs pédagogiques sont identiques mais l'intérêt de cette démarche, par rapport à l'utilisation de logiciels dédiés, réside dans l'apprentissage d'un outil de caractère général que l'élève pourra rencontrer dans d'autres disciplines et en dehors du lycée.

La figure suivante illustre, elle aussi, la détermination expérimentale du pKa d'un couple acide-base à l'issue d'un TP où 6 groupes d'élèves ont effectué au total une vingtaine de mesures de pH de mélanges éthanoate de sodium / acide éthanoïque. Les mesures de pH sont entrées au clavier. Le tableur fournit le tableau de résultats et la courbe.



Présentation des résultats

TABLE: 1 CA= .1 CB= .1 (CH3COOH/CH3COO-)

VACM	20	20	20	20	20	15	10	5	2
VBOCM	2	5	10	15	20	20	20	20	20
RO	.1	.25	.5	.75	1	1.3	2	4	10
L(RO)	-1	-.6	-.3	-.1	0	.12	.3	.6	1
PH	3.6	4.2	4.5	4.6	4.6	4.6	4.9	5.1	5.5
[H3O]									
[OH-]									
[C]									
[A]									
B/A									

ENTREE DES MESURES PAR LES ELEVES

TABLE: 1 CA= .1 CB= .1 (CH3COOH/CH3COO-)

VACM	20	20	20	20	20	15	10	5	2
VBOCM	2	5	10	15	20	20	20	20	20
RO	.1	.25	.5	.75	1	1.3	2	4	10
L(RO)	-1	-.6	-.3	-.1	0	.12	.3	.6	1
PH	9.8	4.2	4.5	4.6	4.6	4.9	5.1	5.5	5.9
[H3O]	1.46	6.3	3.2	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7
[OH-]	6.3	1.6	3.2	4.7	6.3	7.9	9.9	12.7	19.3
[C]	9.2	2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
[A]	9.1	6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
B/A	.1	.25	.5	.75	1	1.3	2	4	10

RESULTATS DES CALCULS DEMANDES(A1et2)

Figure 6

V1(m1)	V2(m1)	pH	[H3O+]	[OH-]	[CH3COO-] - [CH3COOH]	A/AH	log(A-AH)	
1	10	3,8	11,58E-04	6,31E-11	9,25E-03	9,08E-02	11,02E-01	-0,99173
2	10	4	11,00E-04	1,00E-10	1,68E-02	8,32E-02	12,01E-01	-0,69585
3	10	4,2	16,31E-05	1,58E-10	2,31E-02	7,69E-02	13,01E-01	-0,52133
5	10	4,4	13,98E-05	2,51E-10	3,34E-02	6,66E-02	15,01E-01	-0,30025
8	10	4,6	12,51E-05	3,98E-10	4,45E-02	5,55E-02	18,01E-01	-0,09646
10	10	4,7	12,00E-05	5,01E-10	5,00E-02	5,00E-02	11,00E+00	0,000346
15	10	4,9	11,26E-05	7,94E-10	6,00E-02	4,00E-02	11,50E+00	0,176319
20	10	5	11,00E-05	1,00E-09	6,67E-02	3,33E-02	12,00E+00	0,301225
25	10	5,15	17,08E-06	1,41E-09	7,14E-02	2,86E-02	12,50E+00	0,398090
30	10	5,2	16,31E-06	1,58E-09	7,50E-02	2,50E-02	13,00E+00	0,477267
35	10	5,25	15,62E-06	1,78E-09	7,78E-02	2,22E-02	13,50E+00	0,544209
40	10	5,3	15,01E-06	2,00E-09	8,00E-02	2,00E-02	14,00E+00	0,602196
45	10	5,35	14,47E-06	2,24E-09	8,18E-02	1,82E-02	14,50E+00	0,653342
50	10	5,4	13,98E-06	2,51E-09	8,33E-02	1,67E-02	15,00E+00	0,699094
60	10	5,45	13,55E-06	2,82E-09	8,57E-02	1,43E-02	16,00E+00	0,778277
70	10	5,5	13,16E-06	3,16E-09	8,75E-02	1,25E-02	17,00E+00	0,845223
80	10	5,6	12,51E-06	3,98E-09	8,89E-02	1,11E-02	18,00E+00	0,903200
90	10	5,65	12,24E-06	4,47E-09	9,00E-02	1,00E-02	19,00E+00	0,954350
100	10	5,7	12,00E-06	5,01E-09	9,09E-02	9,09E-03	11,00E+01	1,000104

MELANGES ETHANOATE DE SODIUM/ETHANOIQUE

[CH3COOH] = [CH3COONa] = 0,1 mol/l

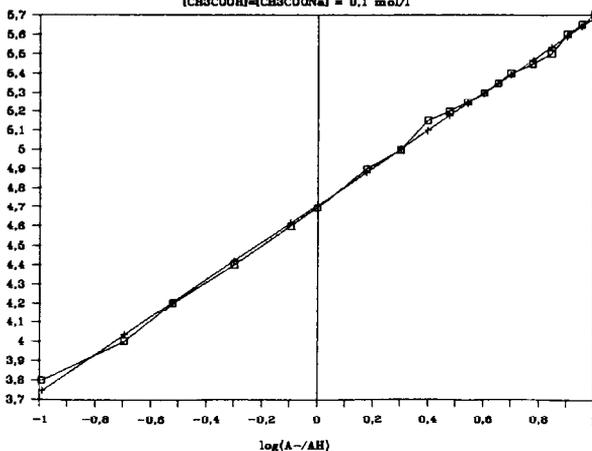


Figure 7

On notera qu'à moins d'avoir programmé le tableur à l'aide de macro-instructions ce type d'utilisation ne propose en lui-même aucune démarche pédagogique ni aucun guidage. C'est donc l'enseignant qui garde la maîtrise du déroulement de la séquence et le guidage de l'élève en cas de difficultés.

L'ordinateur pour programmer

Nous terminerons en évoquant les expériences visant à faire programmer les élèves en particulier grâce aux calculatrices programmables de plus en plus perfectionnées [26] [27].

On peut d'ailleurs penser que, par le biais de l'option informatique ou d'un enseignement de quelques rudiments de programmation, certains élèves posséderont suffisamment de connaissances en programmation pour pouvoir écrire de petits programmes ou compléter des programmes existants. C'est le cas à l'heure actuelle des élèves de classes préparatoires ce qui redonne une actualité à ce type d'activités.

Longue vie aux pH !...

On l'aura compris, le thème acide - base - pH a inspiré de nombreuses recherches. Nous n'avons certes pas été exhaustifs mais nous espérons avoir mis en relief la variété des approches pédagogiques possibles et la grande richesse des outils informatiques mis en œuvre dans chaque cas.

Heureusement l'enseignement de la chimie dans le secondaire ne se limite pas aux notions de pH, même si elles ont la part (trop...) belle ! Dans la deuxième partie de cet article, nous décrivons quelques exemples mettant en jeu des outils informatiques sur des contenus physico-chimiques variés.

DES THÈMES VARIÉS...

Connaître la matière et ses propriétés

Maintenant que les ordinateurs dont nous disposons sont doués d'une rapidité de calculs et de qualités graphiques satisfaisantes, on commence à voir apparaître des logiciels d'illustration des propriétés de la matière.

Ce sont des outils de représentation d'orbitales atomiques : ORBITALES (9) [11], de molécules de chimie organique en trois dimensions [12], de structures cristallographiques [13]. Ces outils visent pour la plupart une illustration du cours, l'ordinateur jouant alors le rôle de «super rétroprojecteur» interactif (voir figure 8).

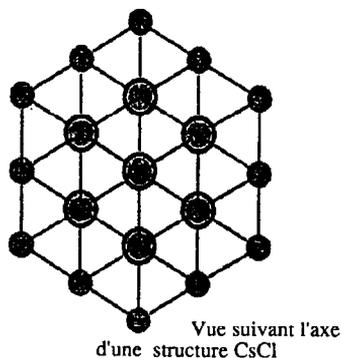
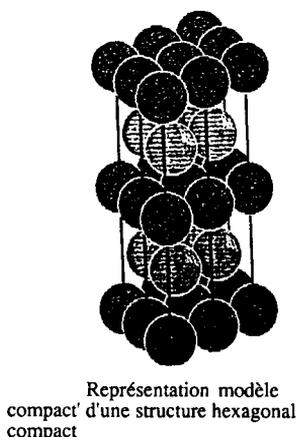
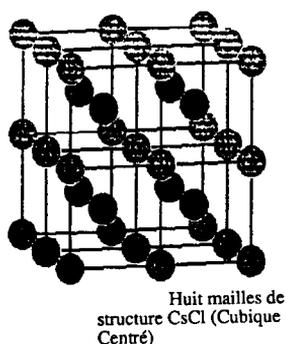
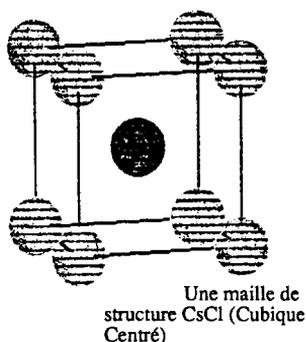


Figure 8

Dans le cas de logiciels sur la nomenclature chimique, il s'agit plutôt d'applications de type tutoriel centrées sur l'apprentissage de la nomenclature : NOMENCLATURE (10) [14].

La reconnaissance d'ions (analyse qualitative) a fait l'objet de plusieurs expériences, au collège [12] et au lycée [22] [23]. Ces expériences utilisent divers outils développés dans le cadre des recherches en intelligence artificielle, en particulier le langage PROLOG ou des systèmes experts. Ce type de logiciels est encore assez peu développé dans l'enseignement secondaire mais semble assez prometteur. Des équipes de recherche universitaires [24] poursuivent des travaux en ce sens : des logiciels comme EXP'AIR (11) d'aide à

l'interprétation de spectres infrarouges, ou REMANO (12) sur la spectroscopie RMN en sont de bons exemples. Ils peuvent être utilisés dans l'enseignement supérieur, les classes préparatoires et certaines sections de l'enseignement technique.

Toujours dans le domaine de la connaissance de la matière et de ses propriétés, on citera MENDELEEV (13) [25], base de données sur les éléments chimiques et les corps purs simples ou TABPERIO (14) logiciel suisse sur le même sujet.

Mesures physicochimiques - analyse quantitative

C'est le domaine qui se taille la part du lion du moins par le nombre des publications !

Les logiciels de mesures physicochimiques se sont développés de façon spectaculaire avec la diffusion d'interfaces à vocation pédagogique, d'autant plus que, dans le cas de ces mesures, les capteurs à mettre en œuvre existent souvent déjà au laboratoire : sonde de pH, électrodes, cellules de conductivité...

La commercialisation d'appareils de mesures directement connectables à l'ordinateur - balances, pHmètres... - favorise encore le développement de ce type d'applications, bien que leur coût relativement élevé pour un laboratoire de lycée en limite pour l'instant l'utilisation. On peut pourtant constater que certaines politiques régionales d'équipement permettront dans un avenir assez proche d'envisager ce type d'équipement moderne.

Actuellement tous les dosages usuels (et ceux qui le sont moins) ont fait l'objet de manipulations d'acquisition automatisées. Nous avons déjà abondamment parlé des dosages pHmétriques ; les dosages conductimétriques permettent de diversifier les méthodes d'analyse [15] [16] [17] mais toutes les méthodes physicochimiques donnent lieu à des automatisations : mesures calorimétriques, spectrophotométriques, polarographiques, potentiométriques... [18] [19].

Même si nombre de ces méthodes sortent du domaine de l'enseignement secondaire classique, elle peuvent renouveler de nombreux TP de l'enseignement technique ou des classes préparatoires. On trouvera sur la figure 9 un exemple de l'ensemble des TP mis en jeu dans une classe de Terminale F.

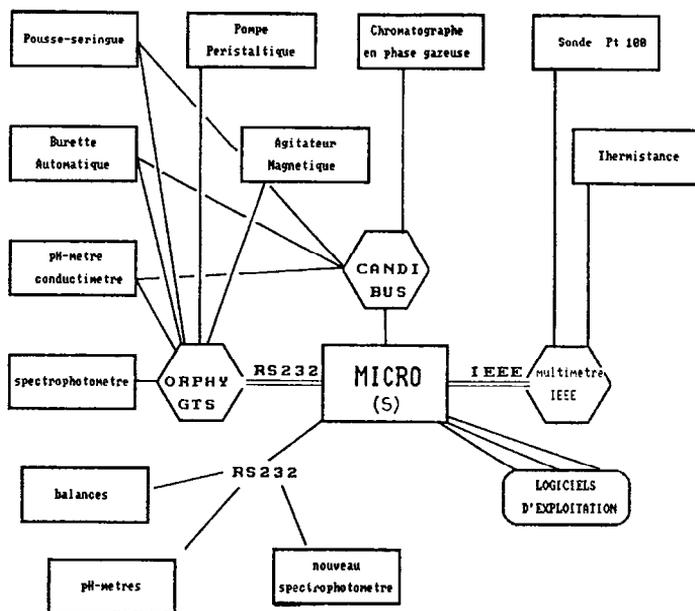


Figure 9

En classe terminale on pourra cependant être intéressé par des manipulations de cinétique chimique qui permettent de mettre très rapidement à la portée des élèves des manipulations variées et d'étudier à volonté des réactions très lentes ou très rapides. De plus l'ordinateur se charge du calcul de l'ordre de la réaction. Une occasion d'aborder de façon expérimentale une partie du cours souvent assez théorique, de dépasser l'aspect qualitatif habituel sans pour autant se perdre dans des calculs mathématiques hors programme, une occasion aussi de présenter une chaîne de mesures automatisée aux élèves...

La cinétique peut également être abordée sans acquisition automatique grâce à une entrée manuelle des données et à des logiciels de traitement ou de simulation [20]. On pourra alors selon le cas simuler et prévoir l'évolution de certains systèmes ou en déterminer les caractéristiques à partir de données expérimentales pour confronter la théorie aux résultats de l'expérience.

Des apprentissages divers

D'autres logiciels sont plus difficiles à regrouper par thèmes. Nous

en évoquerons quelques uns, sans ordre particulier et renvoyons le lecteur à la bibliographie générale pour plus de précisions.

Citons tout d'abord des logiciels graphiques permettant de tracer diverses courbes de variation de grandeurs thermodynamiques : étude d'isothermes et d'isobares lors de la synthèse de l'ammoniac ou pour des gaz réels dont on connaît la pression et le volume critique (15) [31]. Il s'agit là de logiciels outils qui ont pour objectifs de familiariser les élèves avec l'outil informatique, de leur faire écrire quelques procédures simples à l'intérieur de programmes plus importants et de leur faire mener une réflexion approfondie sur le choix des paramètres, du domaine de validité...

Ce sont les mêmes objectifs qui sous-tendent le travail sur la résolution d'un problème de coprécipitation fait en TP de DEUG [32] à Pau.

Tout autres sont les logiciels expérimentés à Lille dans le cadre d'un DEUG en enseignement à distance. Un certain nombre de modules ont déjà été réalisés en physique et en chimie et sont en cours d'expérimentation [28]. Il s'agit là de logiciels d'apprentissage à partir d'exercices informatisés et dont la progression suit le cours écrit qui accompagne les logiciels. Le scénario de chaque exercice est conçu de façon à ce que l'étudiant puisse progresser à son rythme. Les logiciels comprennent également diverses animations (mécanisme de la dissolution d'un cristal dans l'eau) et des simulations «prélaboratoires» du type de celle que nous avons décrite au début de cet article (SIMP3). Des regroupements pour des TP doivent compléter ce dispositif.

Les difficultés des élèves concernant la résolution de problèmes de chimie quantitative (exercices sur équations chimiques avec ou sans excès, dosages, dissolution...) sont bien connues de tous les enseignants dès la classe de seconde. Un logiciel est en cours d'élaboration et d'expérimentation pour tenter d'apporter une aide individualisée aux élèves ayant ce type de difficultés (16) [29] [30].

Dans un premier temps, ce logiciel fournit à l'élève des bases de données sur les corps chimiques et les réactions destinées à l'aider à analyser l'énoncé et à écrire et équilibrer la réaction mise en jeu.

Dans une deuxième étape on propose à l'élève une feuille de brouillon électronique sur laquelle il rédige sa solution de façon libre

moyennant quelques outils syntaxiques et numériques appropriés. Un diagnostic suivi d'un conseil adapté à la solution et aux erreurs éventuelles complètera le dispositif.

EN GUISE DE CONCLUSION

Nous n'avons pas voulu - et nous n'aurions pas pu - être exhaustifs et décrire toutes les applications qui existent en chimie. Toutefois nous avons tenté de caractériser d'une façon assez détaillée les recherches et les produits qui ont été utilisés dans le cadre de l'enseignement de la chimie à différents niveaux.

Nous espérons avoir fait ressortir la variété de ces applications, en plein essor depuis qu'un certain nombre d'avancées technologiques entrent dans les laboratoires de lycées : vitesse de calcul importante, outils de programmation structurée faciles à mettre en œuvre, interfaces... Toutefois beaucoup des applications que nous avons proposées ne peuvent encore être utilisées dans de bonnes conditions faute de postes de travail en nombre suffisant ou de moyens de projection de l'écran.

Espérons que cela sera l'étape suivante et que tout le travail d'investigation, d'expérimentation, de mise au point d'outils matériels et logiciels fourni par les enseignants et que nous venons de présenter y trouvera son aboutissement.

Remarque : les figures qui illustrent cet article sont extraites de diverses publications de l'U.d.P. citées en référence.

BIBLIOGRAPHIE

Les références entre [] renvoient à des articles ou publications. Les références entre () renvoient à des logiciels.

La référence [10] contient une bibliographie détaillée de toutes les publications «chimie et informatique» jusqu'en 1988. Les références ci-dessous appartiennent en général à des publications plus récentes dans lesquelles le lecteur intéressé trouvera d'autres articles non cités.

Nous avons employé les abréviations suivantes (voir article sur bibliographie des publications U.d.P.) :

- «Actes Grenoble» pour Actes des 3^{èmes} Journées «Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques»,
- «Actes Toulouse» pour Actes des 4^{èmes} Journées «Informatique et Pédagogie des Sciences Physique»,
- «Fiches Pratiques...» pour Fiches pratiques d'utilisation de l'Informatique en classe de Physique et Chimie.

- [1] M. SCHWOB - «Acide - base ou le pH à toutes les sauces», in Actes des 3^{èmes} journées MIEC, Université Paris XI, ORSAY, 1987.
- [2] D. BEAUFILS, F. COUSSON, M. SCHWOB - «Du laboratoire à la salle de classe» - supra.
- [3] N. MONACO - «Réaction acide-base» in Fiches Pratiques..., Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 173-183.
- [4] A. PERCHE - «SIMPH 3 : logiciel de simulation de dosage pHmétrique» - in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, p. 381-382.
- [5] G. AVOND - «Nouvelle approche de l'interprétation de dosages» in Fiches Pratiques..., Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 185-199.
- [6] M. ROCHE - «Chimie des solutions et informatique» in Chimie et Informatique, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 101-117.
- [7] A. MEGEL - «Réactions acido-basiques» in Fiches Pratiques..., Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 143-161.
- [8] S. CEYRAL - «Le tableur graphique en sciences physiques» in Actes Grenoble, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 325-328.
- [9] S. SAMSON - «Utilisation de multiplan en TP» in Actes Grenoble, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 329-330.
- [10] A. PERCHE, M. SCHWOB - «Le micro-ordinateur et l'enseignement expérimental de la chimie. Bibliographie commentée» in Chimie et Informatique, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 61-83.
- [11] C. RABALLAND - «Orbitales atomiques et moléculaires» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 345-350.
- [12] P. PUJOL - «Stéréochimie : MOL3D» in Actes Grenoble, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 315-316.
- [13] B. DIAWARA, M. LALLEMANT, J.-P. LARPIN - «CRISTAL : logiciel de représentation 3D de structures cristallographiques» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 59-65.

- [14] F. FILIPPI - «Nomenclature en chimie organique» in Fiches Pratiques..., Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 135-141.
- [15] M. SCHWING, J. CARBONNET - «Les TP de sciences physiques en terminale F7» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 291-296.
- [16] P. CNUUDE - «Un labo automatisé» in Chimie et Informatique, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 49-52.
- [17] P. CNUUDE - «Grandeurs et misères de la saisie de données en F6» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 179-182.
- [18] C. BAILLET, M. HANAUER - Travaux pratiques de chimie et de physique, Paris : U.d.P., 1990, 138 p.
- [19] J. BOYER - «Logiciels de physique chimie - biologie» in Chimie et Informatique, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 45-48.
- [20] A. DATRY, Y. DIENG, J.-C. PONCIN - «Exploitation de cinétiques chimiques sans calculs» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 321-325.
- [21] G. LARIVIERE - «Ions» in Actes Grenoble, Paris - U.d.P.-INRP, 1988, pp. 313.
- [22] J. GAUCHE - «Micropolog et analyse quantitative» in Actes Grenoble, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 89-94.
- [23] P. SCHWARTZ - «Utilisation d'un système expert en TP de chimie» in B.U.P. n° 728, Paris : U.d.P., 1990, pp. 1203-1207.
- [24] «CDIEC : Centre Documentaire Informatique Enseignement Chimie» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 411.
- [25] D. CABROL - «A la découverte des éléments et des corps simples» in Chimie et Informatique, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp. 125-128.
- [26] J.Y. et J. GAL - «Les caleulettes programmables, un outil pour une meilleure connaissance de la chimie des solutions» in B.U.P. n° 664, Paris : U.d.P., 1984, pp 1063-1072.
- [27] M. CHAPELET - «Dosage acide-base à l'aide d'un micro-ordinateur», in B.U.P. n° 668, Paris : U.d.P., 1984, pp 257-268.
- [28] A. PERCHE, M.C. DHAMELINCOURT - «Module solubilité - précipitation» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp 379-380.
- [29] F.M. BLONDEL, M. SCHWOB, M. TARIZZO - «Résolution de problèmes de chimie» in Actes Grenoble, Paris : U.d.P.-INRP, 1988, pp 95-102.

- [30] M. TARIZZO, M. SCHWOB, F.M. BLONDEL - «Les problèmes de chimie : les résolutions de l'élève et l'ordinateur» in Actes Toulouse, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp 109-116.

Logiciels cités

- (1) SERAPHIN, U.d.P. Nancy-Metz, Lycée G. de la Tour Metz (M. Schwing)
- (2) Le pH, Langage et Informatique
- (3) REGRESSI, Microlec
- (4) LABO, Langage et Informatique
- (5) SIMPH3, A. Perche (Lille)
- (6) SIMULTIT, M. Roche, Lycée Gay Lussac, Limoges
- (7) TOT, Labo de chimie analytique, ESPECI, Paris
- (8) NEUTRA, U.d.P. disquettes 3C/3D/3E (ref INF-L14, 15 et 16) (A. Megel)
- (9) ORBITALE, U.d.P. disquettes 2C et 2D (ref INF-L9 et 10) (C. Raballand)
- (10) NOMENCLATURE, Langage et Informatique
- (11) EXP' AIR, CDIEC, Nice
- (12) REMANO CDIEC, Nice
- (13) MENDELEEV, LARTIC, Nice
- (14) TABPERIO, CEAO, Genève
- (15) disquette U.d.P. 1D (ref INF-L5) et 4A (ref INF-L18)
- (16) SCHNAPS, INRP, Paris