

ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA SIMULATION SUR LES PERFORMANCES DES ÉTUDIANTS DE DEUG EN TRAVAUX PRATIQUES DE CHIMIE

Alain PERCHE

On connaît fort peu d'évaluations sérieuses de séquences de simulation d'expériences sur ordinateur. Beaucoup d'essais présentés comme étant des évaluations estiment surtout l'attrait exercé par l'aspect ludique du logiciel sur les utilisateurs... Une évaluation digne de ce nom d'une séquence éducative d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) implique la définition précise d'objectifs, la mise au point d'épreuves pertinentes pour le contrôle de l'atteinte de ces objectifs, et la comparaison des performances obtenues par des groupes de taille significative ayant suivi des séquences d'apprentissage de natures différentes, informatisées ou non.

Il est en outre fondamental de vérifier si, en plus des objectifs pédagogiques traditionnellement poursuivis, il n'est pas possible d'utiliser l'outil pédagogique nouveau qu'est l'informatique pour des objectifs que l'enseignement traditionnel atteint plus difficilement.

Lorsqu'il s'agit de l'enseignement expérimental, une crainte souvent formulée (à juste titre) est que la simulation supplante la manipulation réelle au laboratoire. Cette étude montre que le couplage de l'apprentissage "traditionnel" expérimental au laboratoire de Chimie avec une séquence de simulation sur ordinateur peut lorsqu'elle est menée avec suffisamment de précautions favoriser l'atteinte d'objectifs de prise d'initiative et d'autonomie, sans pour autant diminuer les performances dans d'autres domaines.

1. OBJECTIFS POURSUIVIS

Un constat : les difficultés des étudiants de second cycle devant la réalisation d'un dosage pHmétrique simple.

Privé de l'aide d'un polycopié, l'étudiant de licence de Chimie, se révèle quasi incapable de retrouver la concentration d'une solution acidobasique en effectuant un dosage pHmétrique. Cette constatation s'est également révélée exacte avec les candidats préparant le concours du CAPES de Sciences Physiques et même chez les étudiants préparant un DEA dans les laboratoires de recherche : leur démarche est curieusement toujours du même type ; elle consiste à demander de l'aide d'abord à un étudiant plus ancien puis à un enseignant, très rarement à rechercher un protocole expérimental dans un livre ou un polycopié. La demande concerne davantage les points de détail du protocole expérimental que son ensemble, l'attente des étudiants semblant être une sécurisation plus qu'une information.

Apprentissage et évaluation traditionnels

La grande majorité des activités demandées aux étudiants en Travaux Pratiques consiste à suivre minutieusement le protocole expérimental qui leur a été remis, à fournir les résultats de leurs mesures et de leur exploitation éventuelle et parfois à répondre à des questions ayant trait au principe de la manipulation.

Dans le cas de l'apprentissage "traditionnel" du dosage pHmétrique, les étudiants disposent donc d'un polycopié où se retrouvent théorie et protocole expérimental. Le travail s'effectue par binôme, chaque groupe remettant un compte-rendu écrit à la fin de la séance. L'évaluation porte exclusivement sur ce compte rendu ; elle ne concerne donc que les phases de tracé de courbe et de calcul. L'analyse détaillée des tâches à effectuer lors d'un dosage montre qu'il est extrêmement difficile de savoir si certaines ont été réalisées (rinçage, étalonnage) et même que l'apprentissage de plusieurs d'entre-elles n'est pas prévu : c'est le cas de tous les choix auxquels devraient se livrer les étudiants, qu'il s'agisse de la verrerie, de la solution titrante ou des électrodes. L'évaluation portant essentiellement sur la valeur numérique du résultat et non sur la maîtrise du savoir-faire, il est fréquent de voir attribuer des notes satisfaisantes à des étudiants qui se révéleront incapables de transposer leurs acquis à une situation même très voisine de celle de leur apprentissage.

Les objectifs pédagogiques poursuivis

Ils peuvent être classés de la façon suivante :

Objectifs destinés à favoriser la prise d'initiative chez l'étudiant

Disposant des informations suffisantes, l'étudiant sera capable d'effectuer un certain nombre de choix :

- * de solution titrante
- * du volume d'acide à doser
- * des volumes de burette et de becher
- * des échelles sur le papier millimétré

Objectifs d'autonomie

L'étudiant saura faire fonctionner le pHmètre sans aide extérieure en ne disposant que d'une notice succincte ; cela implique qu'il saura :

- * choisir les électrodes
- * monter ces électrodes
- * étalonner l'appareil

Il saura en outre correctement assembler et utiliser le reste du matériel (burette, agitateur) et choisir judicieusement les intervalles entre les pointés lors du dosage. Enfin, l'ensemble de ces opérations devra être réalisé dans un temps raisonnable et en prenant les précautions indispensables (rinçage).

Objectifs en relation avec la précision des mesures

L'étudiant devra déterminer le volume d'équivalence avec une précision suffisante, ce qui sous entend qu'il aura su exploiter une courbe tracée avec soin sur un graphique aux axes correctement annotés.

Objectifs en relation avec les calculs

Pour obtenir une valeur numérique satisfaisante l'étudiant devra

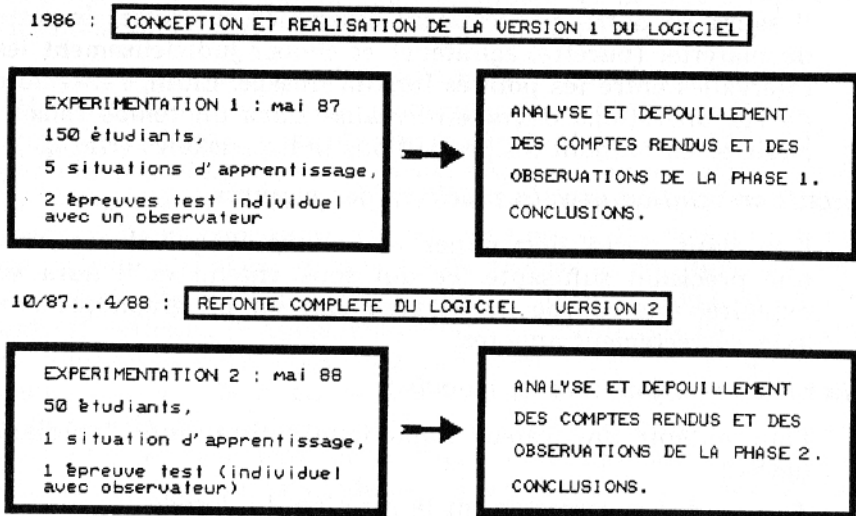
- * écrire correctement la réaction du dosage
- * en déduire une formule correcte entre Ca et Cb
- * éviter les erreurs de calcul ou d'arrondi

(compte tenu du temps réduit consacré à l'apprentissage, le calcul d'erreur n'est pas considéré comme un objectif à atteindre au cours de cette séquence ; il est toutefois évident qu'il figure parmi les objectifs d'autres manipulations)

II. PRÉSENTATION CHRONOLOGIQUE DES DIFFÉRENTES PHASES DE L'ÉTUDE

Au début 1986, nos hypothèses initiales étaient que si l'étudiant a la possibilité de réaliser une première manipulation sur ordinateur, les risques de dégradation du matériel étant alors nuls, il aura davantage confiance en lui et prendra plus d'initiative qu'il ne le ferait au cours d'une séance classique de T.P. . En particulier, nous croyions au rôle positif de l'erreur, à la condition que ce soit l'étudiant lui même qui prenne conscience des erreurs commises.

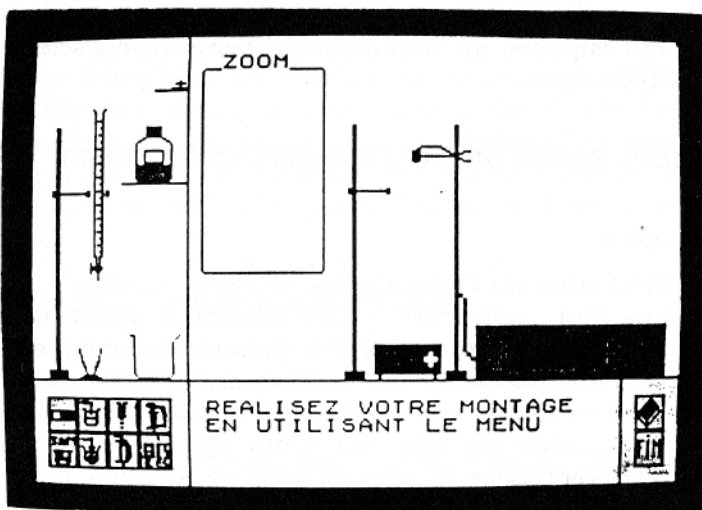
Notre expérience, construite autour de l'utilisation d'un logiciel de simulation "de pailleasse" permettant tous les essais et erreurs s'est déroulée suivant le schéma chronologique suivant :



III. PREMIERS VERSION DU LOGICIEL

Il se présente comme une succession de pages d'écran que l'on active en pointant des touches optiques à l'aide du crayon optique fourni par le constructeur (Thomson).

Après plusieurs écrans de présentation et de choix de verrerie et de matériels, l'essentiel des activités de l'étudiant se déroule face à la page écran ci-dessous



Le menu d'icônes qui figure sur cet écran (menu principal) permet de réaliser l'essentiel des activités que l'on sera amené à réaliser au laboratoire :

- * mise en marche des appareils (pHmètre et agitateur)
- * remplissage ou vidage du becher ou de la burette
- * déplacement de verrerie, d'électrodes etc.
- * réalisation d'une expérience dans des conditions différentes
- * obtention de la concentration de l'acide pour vérifier ses propres calculs.

Toutes ces opérations s'effectuent en activant l'une des 8 touches optiques de gauche ; le plus souvent ces touches sont alors remplacées par d'autres composant autant de sous-menus pouvant eux-mêmes être remplacés par de nouveaux sous-menus. Le retour d'un sous-menu au menu précédent s'effectue en activant la touche optique

La simulation se termine lorsque l'étudiant propose une valeur pour la concentration inconnue... et que cette valeur se situe à l'intérieur d'une fourchette acceptable.

Les manipulations des utilisateurs sont presque illimitées et les erreurs, rarement signalées, ne sont sanctionnées que par leurs effets, ce qui suppose un minimum de prise de conscience de la part de l'utilisateur...

IV PREMIÈRE PHASE DE L'EXPÉRIMENTATION (1987)

Méthodologie

La vérification de l'atteinte des objectifs consiste à faire passer le même test individuel à des étudiants ayant connu des situations d'apprentissage différentes (laboratoire dans des conditions 'classiques', simulation sur ordinateur, situation mixte simulation et laboratoire). L'analyse des observations effectuées pendant et à l'issue du test doit alors permettre de définir la situation d'apprentissage la plus efficace en fonction des objectifs poursuivis.

L'expérience s'est déroulée au cours des séances de Travaux Pratiques habituelles. Cela a entraîné une contrainte de temps, chaque séance devant ne pas dépasser trois heures. Une séance se déroule donc suivant la séquence suivante :

| 20 min | 90 min | 60 min |
|---|---|-------------------------------|
| relecture du poly distribué un mois plus tôt. | phase d'apprentissage différente suivant les groupes. | phase de test au laboratoire. |

Entre l'apprentissage et le test, dix minutes sont consacrées à la modification des postes de travail et au déplacement des étudiants d'une salle à une autre.

La phase de test

Chaque manipulation individuelle consiste soit en un dosage pHmétrique, soit en un dosage potentiométrique. Les étudiants doivent choisir la verrerie (burette, becher), deux électrodes parmi quatre (une électrode de verre, une électrode de platine, une électrode de référence au calomel, une électrode de référence au sulfate mercurieux) et la concentration de la solution titrante parmi trois concentrations d'ordre de grandeur différent. Ils ne disposent plus que d'un mode d'emploi succinct du pH-mètre et d'indications très sommaires concernant le dosage à effectuer. Ils doivent remettre un bref compte rendu à l'issue de la séance.

Au cours du test, chaque étudiant est en outre 'suivi' par un observateur (chercheur ou étudiant en psychologie de l'Université de Lille III) qui conserve une trace détaillée de l'activité de chacun en fonction du temps. Chaque observateur remplit donc une grille

d'observation détaillée pendant une heure, élaborée à partir d'un document vidéo réalisé au cours d'une séance de TP précédente.

Les différentes situations d'apprentissage

Elles correspondent à un apprentissage guidé en présence d'un enseignant, les manipulations s'effectuant par binôme. Nous avons défini cinq situations différentes :

- * apprentissage traditionnel d'un dosage ph-métrique au laboratoire (tradi ph).
- * apprentissage traditionnel d'un dosage potentiométrique au laboratoire (tradi redox).
- * apprentissage par simulation d'un dosage ph-métrique sur ordinateur (EAO).
- * apprentissage par simulation puis au laboratoire en phmétrie (mixte EAO-ph).
- * apprentissage au laboratoire en ph-métrie puis par simulation (mixte ph-EAO).

Au cours des apprentissages, les étudiants disposent de documents écrits explicites. Ces "polycopiés" leur ont été remis plusieurs semaines à l'avance.

Population ciblée, variables mesurées

L'étude a porté sur 150 étudiants de DEUG B première année, en mai 1987. Ces étudiants ont été répartis en 10 groupes aussi homogènes que possible (répartition en fonction des notes de TP de Chimie obtenues au semestre précédent).

Les variables mesurées ont été :

au cours de la phase d'apprentissage

- une appréciation de l'enseignant sur la qualité des résultats obtenus et des réponses aux questions posées.

lors de la phase de test

durée totale de la manipulation décomposée en :

- durée de réflexion
- temps mis pour réaliser le montage
- temps mis pour effectuer le dosage

pour chaque groupe on a également évalué

- la précision du résultat obtenu quand il existe
- la pertinence des choix effectués (verrerie, électrodes et concentration de solution titrante)
- la logique de la démarche suivie au cours du dosage - les précautions prises en cours de manipulation
- la qualité de la courbe $\text{ph} = f(v)$ remise quand elle existe.

enfin, ont été aussi comptabilisées

- le nombre d'interventions de l'enseignement sur le poste de travail
- le nombre d'échanges d'informations entre étudiants
- les degrés de satisfaction et de difficultés ressentis par les étudiants eux-mêmes.

Résultats

* les performances des étudiants lors de la phase de test sont dans l'ensemble très médiocres. (environ 9/20 pour un test phmétrique, 7/20 pour un test d'oxydo-réduction).

* l'apprentissage tradi-ph donne les moins mauvaises performances au cours de la phase de test ; ces performances ne peuvent toutefois être considérées comme satisfaisantes.

* le transfert de l'apprentissage d'un type de dosage à un autre ne se fait pratiquement pas

* les notes obtenues pour le compte-rendu de la phase d'apprentissage sont moyennes (autour de 11/20) quelle que soit la nature du dosage effectué.

Observations concernant la phase de montage

Le temps de montage varie relativement peu suivant la nature de l'apprentissage (valeur moyenne 26 min). Environ 5% des étudiants oublient d'étalonner le ph-mètre avant le dosage acido basique ; en revanche, plus de la moitié des étudiants étalonnent soigneusement l'appareil avant de commencer le dosage redox...

On constate également que beaucoup d'étudiants ne rincent pas la verrerie avant l'emploi ; ainsi, 14% d'entre eux ne rincent rien et un étudiant sur deux ne rince ni la burette ni la pipette avant de l'utiliser. Ces pourcentages ne dépendent pas de la nature de l'apprentissage.

Observations concernant les choix à effectuer

25% des étudiants utilisent une solution de soude de concentration non adéquate pour doser l'acide sulfurique ; un certain nombre d'entre eux constate l'erreur commise et corrige ce choix, néanmoins, 18% des étudiants ne semblent pas gênés par ce mauvais choix. Ces pourcentages passent respectivement à 60% et 40% pour le dosage de l'ion ferreux par l'ion permanganate.

L'utilisation d'une électrode de Pt pour le dosage acido-basique ne s'est rencontrée que rarement et uniquement dans le cas d'un apprentissage EAO. L'erreur inverse est en revanche plus fréquente.

la phase de dosage

le temps nécessaire au dosage est de l'ordre de 25 min quel que soit l'apprentissage subi sauf dans le cas de l'apprentissage mixte où il est un peu inférieur. Le volume d'acide est mal choisi (trop élevé) dans 10% des cas. On remarque enfin sur les courbes de dosage que la moitié des étudiants fournissant une courbe ne resserrent pas suffisamment les pointés au voisinage de l'équivalence.

Le compte-rendu fourni à la fin du test :

écriture des réactions de dosage

Si l'on n'enregistre que très peu d'erreurs dans l'écriture (ionique) et l'équilibrage de la réaction entre les ions ferreux et permanganates, curieusement, on note qu'un tiers des étudiants équilibre mal la réaction entre l'acide sulfurique et la soude et que deux tiers d'entre eux utilise une écriture non-ionique !!!

calcul de la concentration inconnue

Le calcul est très souvent faux car plus de 50% des étudiants exploitent une formule incorrecte et 25% de ceux qui abordent le calcul font une erreur de calcul...

Conclusions à l'issue de la première phase

* En dépit de performances médiocres pour tous les groupes, l'un des intérêts de cette première étude réside dans la possibilité de chiffrer en pourcentages les différentes erreurs et de les relier aux divers types d'apprentissages. Certaines de ces erreurs étaient déjà identifiées mais non quantifiées ; on sait à présent que l'oubli de l'étalonnage pour effectuer un dosage pHmétrique est rare mais que l'étalonnage inutile est fréquent pour faire un dosage redox. On connaît dans le détail les taux

d'oublis de rinçage de la verrerie ou ceux correspondant au nombre insuffisant de mesures autour du point d'équivalence. D'autres faits n'avaient jamais pu être appréciées d'un point de vue quantitatif : citons l'erreur dans le choix d'une solution titrante (15 à 20 % d'erreur) par exemple, ou le fait qu'il faut en moyenne 25 mn à un étudiant de DEUG seul et sans documents pour réaliser le montage correspondant au dosage.

* Les performances très décevantes enregistrées lors des tests portant sur un dosage d'oxydo-réduction peuvent s'expliquer par le fait que les étudiants ont été davantage familiarisés avec les dosages acido-basiques au cours de l'année précédente ; cependant, il est très surprenant que les performances du groupe 'apprentissage redox'- 'test redox' soient extrêmement faibles puisqu'inférieures à celles de tous les autres groupes.

* Il n'y a pas eu de transfert de l'apprentissage en pHmétrie vers la réalisation d'un dosage redox.

* Les performances les moins mauvaises sont à mettre à l'actif des groupes ayant suivi totalement ou partiellement un apprentissage traditionnel (en pHmétrie)

* L'apprentissage sur ordinateur s'est révélé moins efficace que l'apprentissage traditionnel. On peut avancer les explications suivantes :

- le temps nécessaire à l'assimilation du fonctionnement du logiciel est trop long par rapport à la durée d'une séance d'apprentissage.
- certaines erreurs lors du test sont induites par le logiciel (utilisation d'une seule électrode car une seule électrode est visualisée à l'écran par exemple).
- plusieurs incidents de fonctionnement lors de la simulation se sont produits. Ils proviennent soit de la représentation incorrecte ou imprécise du matériel, soit de manoeuvres trop complexes demandées aux utilisateurs (le vidage de la burette s'est ainsi révélé plus délicat par simulation que dans la réalité), soit surtout du maniement très délicat du crayon optique.
- enfin, l'absence de guidage des étudiants a souvent eu pour conséquence de laisser nombre d'entre-eux patauger dans des situations sans issues avant qu'ils ne s'aperçoivent trop tard de leur erreur, alors qu'ils ne disposaient plus du temps nécessaire au dosage.

* bien que ces étudiants n'aient réalisé qu'une simulation trop brève, les performances des groupes 'apprentissage mixte EAO et laboratoire 'sont comparables voire légèrement supérieures à celles correspondant à l'apprentissage traditionnel (en particulier, le temps de manipulation est inférieur pour les étudiants de ces groupes).

* Enfin, bien que les étudiants aient été contraints à une lecture ou relecture des documents d'accompagnement, ceux-ci n'ont pas été suffisamment assimilés.

V. SECONDE PHASE DE L'EXPÉRIMENTATION

Les conclusions tirées au chapitre précédent nous incitent à modifier les objectifs et la méthodologie :

- en ne cherchant plus à évaluer les performances sur un test en oxydo-réduction à partir d'une séquence informatisée simulant un dosage pHmétrique. Les résultats de la phase 1 ont en effet montré que le transfert pHmétrique - oxydoréduction ne se faisait pas.
- en supprimant la phase de prise de connaissance des documents écrits remis à l'avance, cette phase n'ayant apparemment pas été d'une grande efficacité.
- en remaniant considérablement le logiciel
- et en ne considérant plus qu'une seule forme d'apprentissage, une séance au laboratoire (pHmétrique) suivie d'une simulation sur ordinateur, l'apprentissage mixte ayant donné des résultats supérieurs à ceux obtenus avec un apprentissage exclusivement simulé. La nature du test final restant identique, les performances enregistrées à ce test pourront être comparées à celles de l'année précédente.

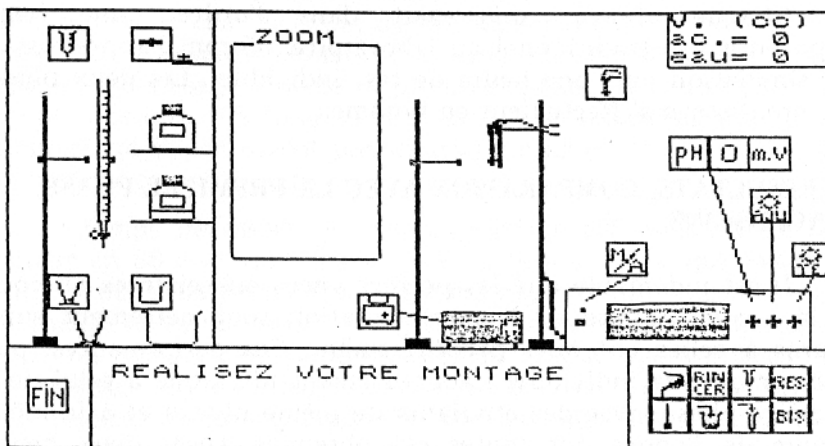
Les modifications du logiciel

Ergonomie

Simplification du mode d'emploi du logiciel : suppression des sousmenus (toutes les touches optiques (T.O.) sont présentes initialement et définitivement), réagencement des positions relatives des T.O., utilisation de couleurs différentes correspondant aux différentes fonctions (déplacement d'objets, interrupteurs de commande, manipulation de liquides) des T.O., simplification du vidage de burette, positionnement à droite de l'écran du pavé principal des T.O. (voir écran page suivante)

Guidage de l'utilisateur par des messages explicatifs plus nombreux, en interdisant un certain nombre de choix ou d'opérations ou encore en signalant certaines fausses manoeuvres (sans les interdire). La précision du graphisme (représentation de 2 électrodes p. ex.) et le réalisme (bruit de fond sur la valeur du pH) sont améliorés.

Enfin, la capacité mémoire d'un MO5 étant réduite, ces modifications se sont accompagnées de plusieurs simplifications (suppression des pages de titre et présentation p.ex.)



Aspects pratiques de la seconde phase de l'expérimentation Comme nous l'indiquions plus haut, cette seconde phase n'étudiera que l'influence de l'apprentissage mixte en pHmétrie sur les performances réalisées au cours d'un test en pHmétrie. L'épreuve test est identique à celle mise sur pied pour la phase 1, puisqu'il s'agit toujours d'un dosage de l'acide sulfurique par la soude. Les documents accessibles sont les mêmes, en revanche, les observateurs sont à présent des Chimistes, enseignants ou étudiants de troisième cycle, tout aussi neutres que les précédents mais plus compétents dans la matière étudiée. De ce fait, la grille d'observation a pu être remaniée, de façon à simplifier son dépouillement.

Le document de présentation du dosage fourni plusieurs semaines à l'avance a été légèrement remanié, la présentation proprement dite de la manipulation à effectuer lors de l'apprentissage au laboratoire est inchangée.

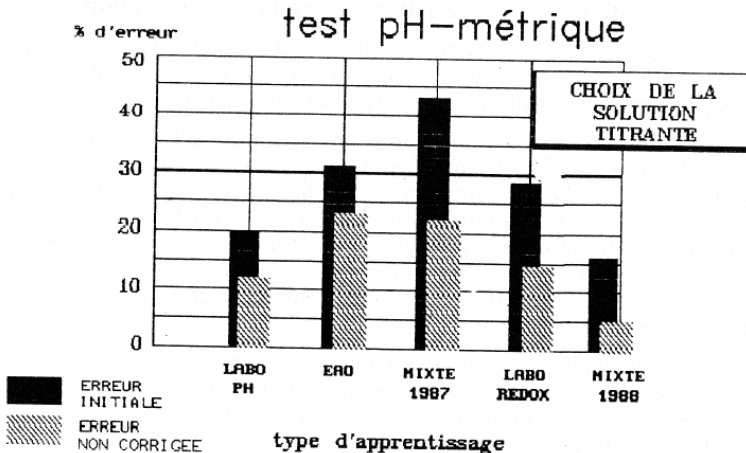
Réalisation pratique

La deuxième partie de l'étude a concerné deux groupes de TP, soit environ 50 étudiants provenant tous de la section DEUG A alterné.

Chaque séance comprenait dans l'ordre : une heure d'apprentissage traditionnel au laboratoire, 55 min d'apprentissage par simulation puis une heure de test individuel. Les deux phases d'apprentissage s'effectuaient en binôme.

VI. RÉSULTATS, COMPARAISON AVEC LA PREMIERS PHASE. CONCLUSIONS

Il est indéniable que **les performances enregistrées** au cours de la seconde phase de l'expérimentation **sont nettement supérieures à celles obtenues précédemment**. Ces performances, portant sur un test individuel rigoureusement identique à celui de la première phase, avec des étudiants de même niveau et à la même époque de l'année ont toutes été obtenues Après deux heures d'apprentissage ; elles peuvent donc être comparées les unes aux autres.



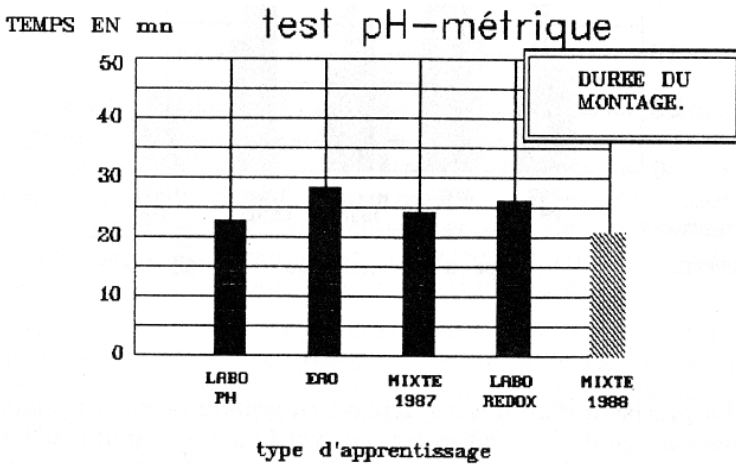
Toutes les variables en liaison avec les objectifs poursuivis, c'est à dire la prise d'initiative et l'autonomie, ont évolué dans un sens favorable au cours de cette seconde phase :

Partout où un choix était nécessaire, les pourcentages d'erreur ont chuté à des valeurs inférieures à 5%. Ainsi, par exemple dans le cas du choix de la solution titrante, alors que 20 à 40% des étudiants

LE BULLETIN DE L'EPI ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA SIMULATION...

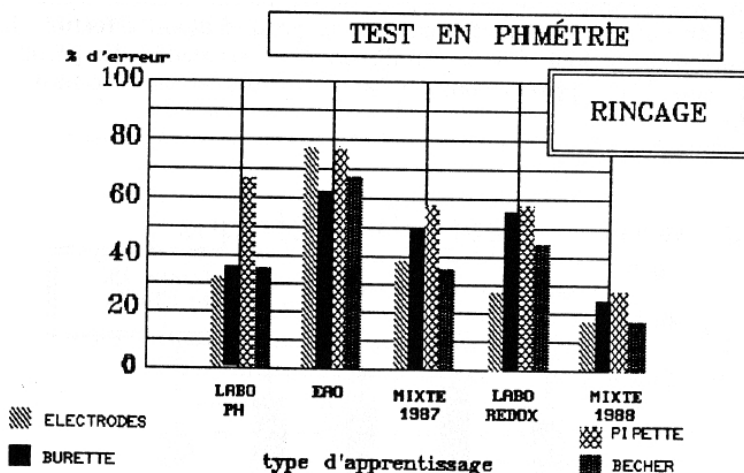
choisissaient une concentration de soude inadaptée au dosage lors de la première phase de l'expérience, ils ne sont plus que 16% dans ce cas lors de la seconde phase, et 5% seulement ne s'aperçoivent pas de leur erreur contre 13 à 23% lors de l'expérience précédente.

Le temps nécessaire à la manipulation est toujours un peu inférieur en 88 à ce qu'il était en 87, à la fois en ce qui concerne la durée du dosage que celle du montage (étalonnage, rinçage, remplissage de la burette,...). Le gain de temps est particulièrement net si l'on compare les performances du groupe ayant effectué un apprentissage exclusivement simulé en 87 avec celles du groupe ayant réalisé un apprentissage "mixte" au labo et sur ordinateur en 88.



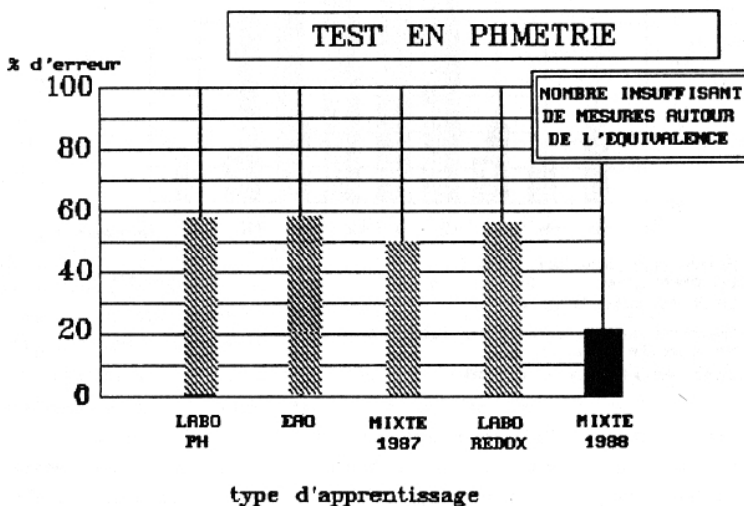
Le manque de soin apporté lors du dosage est à l'origine de plus nombreuses erreurs qu'on ne pourrait le supposer : la présence d'un observateur par étudiant a permis de chiffrer les erreurs de rinçage et d'essayer de relier leur fréquence à la nature de l'apprentissage suivi. Elle a également rendu possible le classement en fonction de la nature de la verrerie : on sait à présent que les chimistes débutants oublient plus souvent de rincer les pipettes que les électrodes...

En 87, la moyenne des oublis de rinçage se situait autour de 50%, pourcentage qui se réduit autour de 20% en 88, cette amélioration pouvant sans doute être attribuée aux messages d'aide apparaissant en cas d'oubli pour la dernière version du logiciel.



La précision d'un dosage dépend en grande partie du nombre de mesures qu'il faut effectuer au voisinage du point d'équivalence. Si ce nombre est insuffisant, la précision sera trop faible.

On note que lors de la première phase d'expérimentation, plus de 50% des étudiants effectuent cette erreur, ce pourcentage semblant indépendant de la nature de l'apprentissage. Ce taux d'erreur descend à 20% lors de la seconde expérimentation en 88.

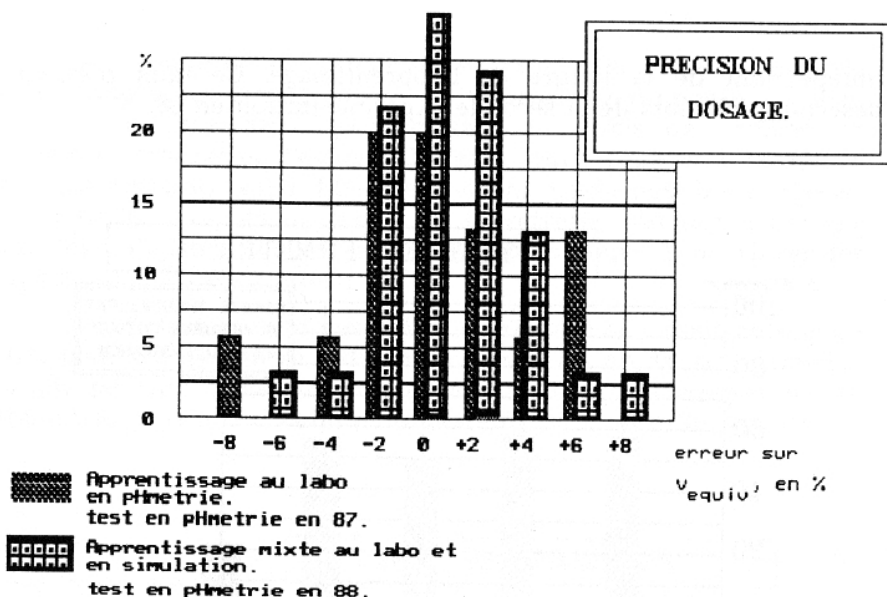


Le graphique suivant représente le pourcentage des étudiants d'un groupe qui ont déterminé le volume équivalent avec une certaine

LE BULLETIN DE L'EPI ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA SIMULATION...

précision. Le cas idéal correspond à une erreur sur le volume équivalent de 0%. Sont reportés sur ce graphique les résultats correspondant au meilleur groupe de l'expérience 87 (apprentissage au laboratoire en pHmétrie) et au groupe 88 (apprentissage mixte au laboratoire et par simulation).

On constate une nette amélioration de la précision des dosages puisque 75% des dosages de la seconde expérimentation peuvent être considérés comme satisfaisants du point de vue de la seule précision contre 53% lors de la première phase.



Cela ne signifie toutefois pas que 75 % des résultats fournis par les étudiants soient exacts... L'exploitation des dosages s'est en effet révélée délicate du fait de l'incapacité de 40 % des étudiants à trouver la relation entre les concentrations d'acide et de base au point d'équivalence et du fait d'environ 25 % d'erreurs de calcul. L'amélioration de ces performances ne faisait pas partie des objectifs poursuivis - il est vrai que lorsque nous avons choisi les objectifs, nous ignorions l'ampleur de ce type de problème - et les pourcentages correspondant à ces erreurs ne varient pas sensiblement d'une phase de l'expérience à l'autre.

C'est néanmoins l'un des intérêts de cette étude que d'avoir **identifié les erreurs les plus courantes** puis chiffré leur fréquence.

Nous avons également montré que, malgré la similitude qui existe entre les dosages pHmétriques et les titrages d'oxydoréduction, il n'existait pas de transfert d'apprentissage de l'un vers l'autre. Peut-être un certain nombre de différences de détail (pas d'étalonnage nécessaire, solution colorée, électrodes différentes, mesure d'une ddp) masquent-elles aux yeux des étudiants l'analogie existant entre les deux dosages ? Cela provient sans doute d'une assimilation très superficielle du principe de ces manipulations.

Enfin, nous pensons avoir démontré **l'impérieuse nécessité de l'évaluation d'un logiciel avant d'être en mesure de l'exploiter avec profit**. L'essentiel des problèmes rencontrés au cours de la première phase de l'expérimentation provenait d'un mode d'emploi difficile à assimiler et, d'incidents de fonctionnement imprévus.

La conception pédagogique même du programme a été remise en question puisque nous pensions initialement que l'utilisateur prendrait seul conscience de ses erreurs et qu'ainsi il les mémoriserait mieux. Pour que cette démarche soit effective, il est rapidement apparu qu'une utilisation pendant un laps de temps beaucoup plus long serait nécessaire, trop long pour être compatible avec la contrainte de temps qui nous était imposée. Cela nous a conduit à mettre en place un guidage de l'utilisateur en interdisant un certain nombre de manœuvres (qu'il a fallu identifier auparavant) et en affichant un certain nombre de messages. Cette aide n'apparaissant qu'en cas d'erreur dans la réalisation du dosage s'est révélée efficace.

Cette évaluation du logiciel a été difficile à mettre en œuvre puisqu'elle a nécessité la réalisation d'un logiciel annexe permettant d'enregistrer toutes les activités de l'utilisateur et qu'elle a demandé l'observation d'un nombre suffisant d'étudiants. Elle a en outre été fort longue puisque, outre le temps consacré au dépouillement des fichiers enregistrés, les modifications apportées au logiciel ont demandé plusieurs mois...

Alain PERCHE

Groupe Trigone
et Laboratoire de Cinétique et Combustion
Université des Sciences et Techniques de
Lille Flandres-Artois
59655 - Villeneuve d'Ascq cedex