

Du laboratoire à la salle de classe

par Daniel BEAUFILS, INRP, 92120 Montrouge
Françoise COUSSON, Lycée Richelieu, 92500 Rueil Malmaison
et Monique SCHWOB, Lycée De La Tour, 57000 Metz

«A l'heure actuelle on ne peut plus imaginer pénétrer dans un laboratoire quel qu'il soit (recherche, analyse, production, etc) sans être immédiatement environné d'ordinateurs. Pas une manipulation, pas une chaîne de fabrication qui n'intègre de façon plus ou moins généralisée l'informatique».

Cette réflexion tirée de l'article de 1985 «Du laboratoire à la salle de cours» [1] traduit bien le courant qui s'est développé dans le domaine de l'utilisation de l'ordinateur pour l'enseignement des sciences physiques. Ce point de vue proposant des utilisations de l'ordinateur comme *outil de laboratoire* avait été soutenu en 1983 par A. Durey dans une communication qu'il avait intitulée : «Avec des micro-ordinateurs faire des sciences physiques d'abord» [2].

1. DU LABORATOIRE À LA SALLE DE CLASSE : C'EST-À-DIRE ?

Ce point de vue sous-entend trois idées essentielles, qu'il nous semble important d'explicitier, et à partir desquelles nous présenterons les pratiques actuelles dans l'enseignement.

La première réside dans le choix d'un enseignement *avec l'ordinateur* et non pas d'un enseignement par l'ordinateur [3]. De ce fait, l'EAO - Enseignement Assisté par Ordinateur, au sens classique de l'enseignement tutoriel où le logiciel prend en charge l'enseignement d'un contenu précis à travers des séquences information/question/réponse - a été peu développé. Nous n'en donnerons pas d'exemples, l'objectif de cet article étant de présenter les tendances dominantes des utilisations actuelles de l'informatique en sciences physiques.

La seconde idée consiste à s'attacher à une «informatique outil» et non à une «informatique objet». En d'autres termes il s'agit d'abord de

sciences physiques et non d'informatique : les objectifs pédagogiques sont centrés sur l'acquisition de savoirs et de savoir-faire de physicien et non d'informaticien [4]. Notons toutefois que la distinction n'est pas toujours facile. Elle implique un choix pédagogique pour décider, par exemple, d'apporter ou non des connaissances sur le fonctionnement des outils informatisés : faut-il, comme on le fait pour l'oscilloscope, expliquer le principe de l'ordinateur, de l'interface ? Faut-il détailler les méthodes numériques ? Quel niveau de compétence dans l'utilisation de ces moyens par les élèves souhaite-t-on atteindre ?

Enfin, la conception de logiciels, qui possèdent des fonctionnalités d'acquisition automatique et des outils d'analyse numérique et graphique s'inspirant des outils utilisés par les chercheurs, nécessite que l'on adapte ces possibilités à des fins pédagogiques ou didactiques. Il nous semble, à ce propos que l'on peut actuellement distinguer deux catégories de logiciels selon la façon dont s'est effectuée cette «transposition». Et c'est cette distinction - qui conditionne directement un certain nombre de pratiques pédagogiques - qui nous semble être la troisième idée-force sous-tendant les utilisations de l'ordinateur en sciences physiques.

Dans une première catégorie on peut en effet regrouper des logiciels dont l'objectif principal est la transmission de connaissances. Il s'agit donc, pour l'enseignant qui les utilise en cours ou en séance de travaux-pratiques, d'aides à une meilleure présentation de tel ou tel phénomène, à une meilleure gestion du temps : obtention rapide de données expérimentales, présentation de graphiques clairs adaptés à la présentation habituelle des notions et complétés par une formule écrite en larges caractères, etc. Il importe de noter que ces logiciels intègrent alors de façon explicite une démarche pédagogique.

Dans la seconde catégorie on peut ranger les logiciels où l'on a transposé non seulement les outils et méthodes informatiques mais également les activités scientifiques qui s'y rapportent : modélisation expérimentale, simulation modélisante, par exemple. Il s'agit alors de réels logiciels «outil de laboratoire» dont la forme n'est pas liée à une présentation ou une approche particulière d'une notion, et qui permettent d'abord de *faire de la physique* (à travers des activités de type résolution de problèmes, par exemple).

La suite de l'article est constituée de deux parties qui s'appuient sur ces éléments de réflexion. Dans la première partie nous décrivons

plus spécifiquement l'aspect «outil de laboratoire», en essayant de présenter l'essentiel des méthodes d'acquisition et d'analyse de données mises en œuvre. Dans la seconde partie, nous montrons les utilisations plus «pédagogiques». Les différents domaines des sciences physiques ainsi abordés font par ailleurs l'objet d'articles spécifiques [5, 6, 7].

2. L'ORDINATEUR OUTIL DE LABORATOIRE

2.1. L'ordinateur instrument de mesure et de pilotage

La possibilité de connecter l'ordinateur à des dispositifs expérimentaux a sans conteste été l'élément le plus motivant pour son utilisation dans l'enseignement des sciences physiques. Deux types d'interaction entre l'ordinateur et le dispositif expérimental doivent toutefois être distingués.

Dans le premier, la communication se fait du dispositif physique vers l'ordinateur : c'est l'acquisition. Ce type d'utilisation est le plus fréquent dans l'enseignement grâce à l'existence d'interfaces et de capteurs de plus en plus nombreux [8]. Nous en donnons deux exemples ci-dessous qui concernent, l'un, l'électricité, l'autre, la mécanique.

Le second type d'interaction, très fréquent en laboratoire, consiste à faire piloter le dispositif expérimental par l'ordinateur. La présence de capteurs et la saisie de données font alors partie du dispositif de contrôle du processus. Dans l'enseignement classique - il n'en est pas de même évidemment pour l'enseignement technique - peu de réalisations ont été faites dans ce sens. Le troisième dispositif que nous décrivons - qui concerne la chimie - en est toutefois un exemple.

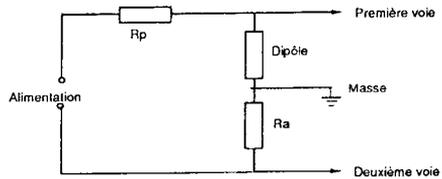
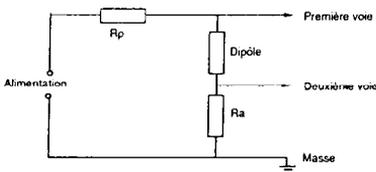
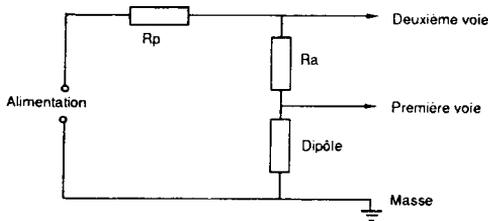
2.1.1. Dipôles

Parmi les premiers logiciels mis au point, on trouve des logiciels de tracé de caractéristiques de dipôles. Dans ce cas la prise de données est directe puisque la grandeur à mesurer est une tension, et ne nécessite pas de capteur particulier.

Plusieurs versions ont été proposées avec des fonctionnalités et des démarches pédagogiques légèrement différentes. Nous décrivons ici le logiciel «Les Dipôles» (1) utilisable avec les interfaces Candibus (2), Orphy-GTS (3) et ESAO3 (4). L'application complète comporte deux étapes : l'acquisition de mesures et le traitement des données. Nous

n'en décrivons que la première étape, caractéristique d'une utilisation de l'ordinateur comme instrument de mesure.

Le dispositif expérimental peut être l'un des montages classiques proposés aux élèves en travaux pratiques : masse commune, dipôle à la masse, résistor à la masse. Ces variantes sont évidemment prises en compte par le logiciel qui gère ensuite automatiquement la mise en forme de données lors de l'acquisition (qui peut être réalisée à partir d'une tension continue ou alternative).



Remarques :

1 - le résistor R_a sert à la mesure de l'intensité. Dans le cas de l'utilisation de l'interface ESAO3 un adaptateur «ampèremètre» permet de s'affranchir de ce résistor et de retrouver simplement les montages «longue et courte dérivation» classiques.

2 - Le logiciel permet également de choisir entre la convention «générateur» et la convention «récepteur», selon le dipôle étudié, et d'imposer des limitations (en tension, intensité, puissance absorbée ou fournie) au dipôle étudié.

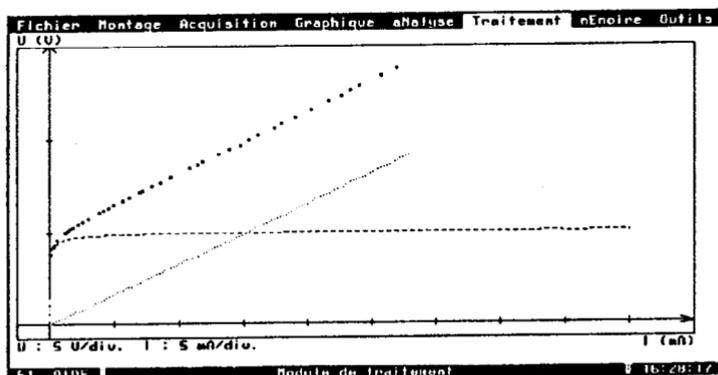
Le montage une fois défini, l'acquisition proprement dite peut commencer ; en courant alternatif elle est entièrement automatique, dure 10 ms et comprend 10 à 200 points (nombre fixé par l'utilisateur).

En courant continu l'expérimentateur peut sélectionner :

- un mode manuel où il fixe la tension (donc l'intensité) et choisit de retenir ou non la mesure correspondante,
- un mode automatique où les mesures sont prises automatiquement en suivant les variations qu'il impose à la tension.

L'affichage graphique des points de mesure se fait en temps réel (montage alimenté en courant continu) ou légèrement différé (montage alimenté en courant alternatif). De nombreux paramètres permettent de choisir le type de graphique souhaité ($U=f(I)$, $I=f(U)$), les échelles, les couleurs, le type de tracé, etc, et de superposer (ou non) plusieurs courbes.

L'ensemble des deux séries de valeurs numériques (U , I) ainsi obtenues peut alors faire l'objet d'un traitement immédiat ou être mis en mémoire pour une analyse ultérieure [6].



2.1.2. Chute

La particularité se situe ici dans la nécessité d'utiliser des capteurs spécifiques. En effet, pour suivre un déplacement, mesurer une vitesse ou connaître l'intensité d'une force, il faut utiliser des capteurs qui vont transformer les grandeurs «mécaniques» en tension électrique. Celle-ci pourra alors être lue par l'interface [5]. L'exemple que nous avons choisi est l'utilisation de capteurs photo-électriques pour l'étude de mouvements rectilignes tels que la chute libre.

En effet, en plaçant plusieurs cellules sur la trajectoire d'un objet, on peut détecter son passage et saisir directement avec le micro-ordi-

nateur (grâce à son horloge interne) les différentes dates correspondantes. De plus, si la distance séparant deux cellules est faible, l'ordinateur peut calculer directement la vitesse au point considéré.

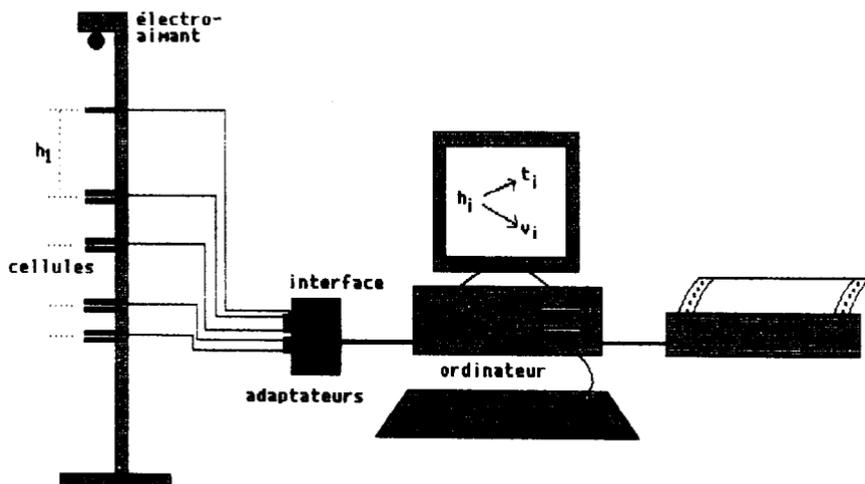
Plusieurs dispositifs (matériel + logiciel) ont été conçus [5]. Celui décrit ci-dessous permet l'étude de la chute d'une bille d'acier. Il est constitué d'une chaîne comportant de 1 à 4 capteurs constitués de deux cellules photo-électriques, complétée éventuellement par une cellule simple. Elles sont placées sur une réglette graduée et reliées à un ordinateur par l'intermédiaire d'une interface adaptée (chaîne Chronociné (5), interface ESAO3 et logiciel Chute (6)).

Le déclenchement de l'horloge peut se faire au niveau de l'électroaimant qui maintient la bille (vitesse initiale nulle) ou au niveau du capteur simple (vitesse initiale non nulle).

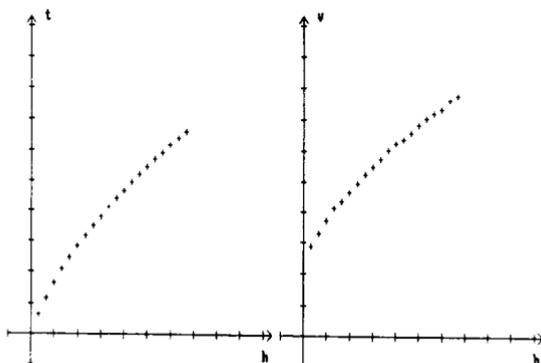
L'utilisateur entre au clavier les valeurs h_i qui correspondent aux différentes positions des capteurs doubles, puis libère la bille. On obtient alors une mesure du temps et de la vitesse instantanée à la distance h_i du point choisi comme origine :

$$t_i = \frac{1}{2} (t_{i1} + t_{i2}) \quad V_i = \delta / (t_{i2} - t_{i1})$$

où δ désigne la distance entre les deux cellules d'un même capteur, et t_{i1} et t_{i2} les dates d'occultation de ces mêmes cellules.



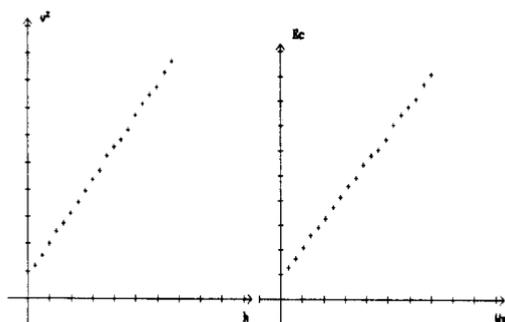
L'écran initial est constitué de deux «espaces de représentation» - $t(h)$ et $v(h)$ - qui correspondent directement au dispositif d'acquisition. En effet, t et h sont les mesures effectuées *en fonction* des positions h_i fixées par l'utilisateur.



On peut remarquer ici que v est déjà une «mesure calculée». De la même façon on peut donc parler de mesure de l'énergie cinétique, du travail du poids,... C'est pourquoi, en fonction du problème de physique posé, il est possible de choisir dès le départ la grandeur que l'on veut étudier et changer ces représentations en sélectionnant les grandeurs et leur affectation en abscisse ou ordonnée, dans un ou deux espaces, superposés ou non.

: racine carrée de t		: \sqrt{t}	
: variable t au carré		: t^2	
: ordonnée (mètre)	: z		: t
: val. abs. de z (mètre)	: $ z $: z
: dénivellation (mètre)	: h		: h
: vitesse (m/s)	: v_z		: v_z
: norme de la vitesse (m/s)	: v		: v
: variable v au carré	: v^2		
: travail du poids	= mgh	(mJ) : W_p	
: énergie cinétique	= $\frac{1}{2}mv^2$	(mJ) : E_c	
: énergie potentielle	= mgz	(mJ) : E_p	
: énergie mécanique	= $E_c + E_p$	(mJ) : E_m	

A chaque acquisition, les points expérimentaux s'affichent quasi-instantanément dans le (ou les) espace(s) ainsi choisi(s), les valeurs numériques étant, elles, mémorisées dans un tableau pour une analyse quantitative (et mathématique) ultérieure.

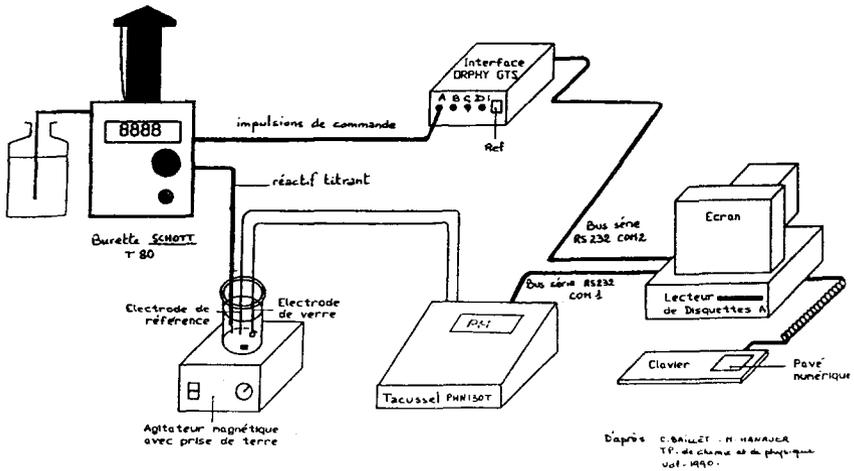


2.1.3. pH avec burette automatique

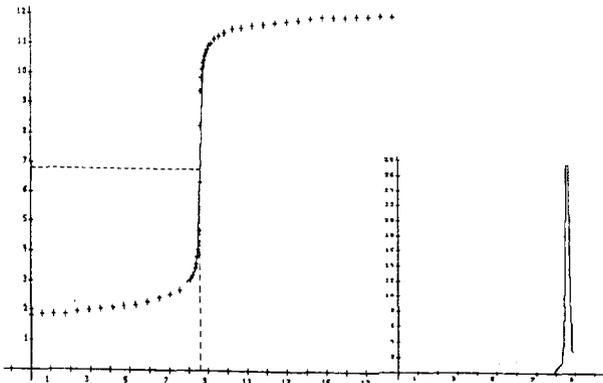
Comme nous l'avons indiqué en introduction, peu d'expériences, au niveau de l'enseignement secondaire classique, utilisent l'ordinateur pour piloter une manipulation. Des mesures de pH fournissent toutefois un bon exemple de ce type d'utilisation [7].

Divers logiciels existent avec des degrés d'automatisation très variables. Les plus simples n'utilisent qu'une mesure automatisée du pH, la mesure et la lecture du volume étant laissées sous la responsabilité de l'utilisateur qui entre les valeurs au clavier (Le pH, (7)). La mesure du pH se fait par l'intermédiaire d'une interface pour les pH-mètres classiques, ou directement, avec les appareils plus récents qui disposent d'une sortie «RS232» [8]. Dans les deux cas le capteur est la sonde de pH elle-même. Les arguments développés pour ce choix de logiciels sont essentiellement pédagogiques : c'est l'élève qui continue à gérer son dosage, à choisir et à lire les volumes sur la burette ; le déroulement classique du dosage est peu perturbé ; le logiciel permet de gérer les principales activités : mémorisation, tracés de courbes, calcul du point d'équivalence,...

Mais il est possible d'automatiser entièrement la manipulation. Dans les logiciels les plus récents, il y a d'une part un système de mesure des volumes de liquide débités, et d'autre part, une régulation de l'ajout de ces volumes choisis, en fonction de la variation du pH. En ce qui concerne le contrôle du débit on peut utiliser des burettes automatiques vendues dans le commerce et qui s'interfaçent très facilement (relativement chères mais accessibles aux lycées techniques) ou des systèmes plus économiques (pousse-seringues automatiques (8)) qui ont été réalisés par diverses équipes.



Il y a alors une double interaction entre l'ordinateur et le système d'ajout de réactif titrant : commande de cet ajout régulé automatiquement par le logiciel selon la variation de pH lue sur le pH-mètre, et acquisition automatique du pH et du volume. Les logiciels les plus élaborés commandent également un agitateur magnétique automatique.



Séraphin et Lisse

Ces systèmes permettent donc la réalisation de dosages entièrement automatisés où l'utilisateur n'a plus qu'à effectuer (guidé par le logiciel) les opérations d'étalonnage et de mise en route de la manipulation. Les avantages sont la rapidité et l'augmentation de la précision grâce au grand nombre de points de mesure réalisés, en particulier au voisinage du point équivalent (les ajouts de volume peuvent être de l'ordre du dixième ou du centième de millilitre). Comme les autres exemples décrits ci-dessus, les logiciels comportent également des possibilités de tracés de courbes en temps réel (qui permettent un suivi direct), et de mémorisation des mesures. D'autres traitements plus spécifiques permettent ensuite d'améliorer encore l'appréciation du dosage.

2.1.4. Quelques réflexions générales sur l'ordinateur au laboratoire

L'ordinateur, contrairement à la majorité des appareils de mesure classiques, tous spécifiques d'une classe de grandeurs, peut être considéré comme un appareil de mesure quasi universel : toute grandeur susceptible d'être, par un dispositif quelconque (capteur), transformée en tension électrique, peut être mesurée grâce à l'ordinateur. Munis des possibilités de calcul, de représentation, de mémorisation et de traitement il peut être considéré comme un «super-oscilloscoppe».

Élément important de la chaîne de mesure automatisée, le capteur - dispositif physique par excellence - peut-être envisagé lui-même comme objet d'étude. Le choix de l'étudier ou non renvoie à la question posée en introduction quand au niveau de compétence que l'on souhaite voir atteint par les élèves. Ce que l'on peut faire remarquer ici, c'est qu'il faut éviter d'aborder par le détail le principe de la prise de données au moment de l'étude du phénomène ; suivant les cas il convient alors de présenter le dispositif avant (cas des cellules doubles que l'on peut introduire au moment de la révision de la notion de vitesse), ou de revenir sur le principe du capteur lors d'une leçon ultérieure (cas des capteurs potentiométriques que l'on peut étudier ensuite dans la partie électricité du programme).

2.2. L'ordinateur outil de calcul

L'ordinateur «outil de laboratoire» n'est évidemment pas seulement utilisé pour la mesure, mais permet également de représenter et analyser un grand nombre de données. C'est d'ailleurs dans la pratique des laboratoires, à cette utilisation que la majeure partie du temps est

parfois consacrée. C'est cet autre aspect, aujourd'hui directement intégré aux fonctionnalités d'acquisition dans la plupart des logiciels, que nous abordons dans ce paragraphe.

L'objectif n'est cependant pas de dresser une liste exhaustive des méthodes numériques utilisables sur micro-ordinateurs ni d'en détailler les algorithmes [9], mais plutôt de citer quelques outils numériques simples et utiles, et les circonstances ou les types d'activités qui conduisent à leur utilisation.

2.2.1. Analyse de type statistique

Il s'agit ici de méthodes numériques classiques. Elles peuvent être fournies par des logiciels «généraux» de type tableur ou des logiciels adaptés à une étude particulière. Certaines d'entre elles sont d'ailleurs disponibles sur les caulettes scientifiques.

La situation a priori la plus simple est celle où l'expérience ne fournit qu'une seule grandeur. La question porte alors généralement sur l'estimation d'une valeur moyenne. Si un dispositif de mesure permet d'obtenir un assez grand nombre de résultats, l'ordinateur pourra être utilisé pour mémoriser ces valeurs puis pour en déduire directement la valeur moyenne, ou mieux, un intervalle de confiance.

Rappelons que ces notions et celles qui y sont attachées (loi normale, écart-type, etc) font partie des instructions officielles (en sciences physiques) des classes des lycées, et que des exemples de présentation sont donnés dans les commentaires correspondants [10].

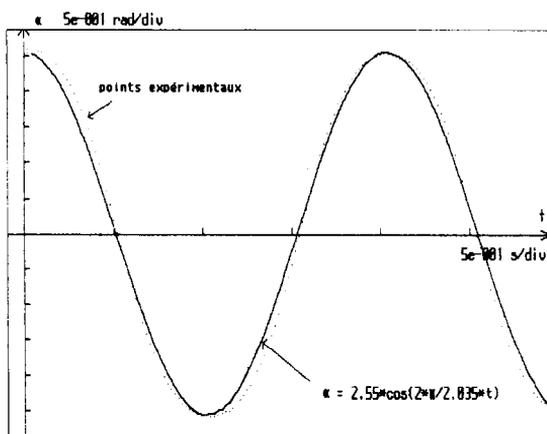
Les circonstances et les occasions d'utiliser ce type de calcul restent encore assez limitées dans la pratique. Il ne peut s'agir, en premier lieu, que d'une activité de type «mesurage», où l'enjeu porte effectivement sur la qualité du résultat et qui nécessite l'organisation des séances de travaux pratiques spécifiques. En second lieu, les situations réelles rencontrées sont rapidement complexes puisqu'elles peuvent faire intervenir à la fois la précision de l'appareil de mesure (avec la notion de classe), le dispositif expérimental (avec la notion d'erreur systématique), et le protocole expérimental (mesures sur un même objet réalisées par différentes personnes, mesures sur différents échantillons, etc).

Citons ici l'exemple du logiciel CRAB [11], qui utilise la technique du «khi carré» pour déterminer les paramètres de la loi d'absorption

des rayons gammas en fonction de l'épaisseur de l'écran ($N = A \cdot \exp(-\mu x)$). Les mesures d'absorption par différents écrans de plomb (grâce à un compteur de radioactivité) sont entrées au clavier et mémorisées par le logiciel. Celui-ci calcule l'incertitude sur les valeurs (loi de Poisson), puis les valeurs du χ^2 pour différentes valeurs des paramètres A et μ . L'élève doit repérer alors «la cuvette» des minima et déterminer ainsi les valeurs recherchées. Trois versions existent actuellement sur machines compatibles (9, 10, 11).

La situation la plus couramment rencontrée est celle où deux grandeurs sont mesurées simultanément. La question porte alors sur la détermination de la corrélation entre ces grandeurs. Plus précisément, la question ne porte alors ni sur l'existence ni sur la forme de la corrélation mais sur la valeur du ou des paramètres de l'expression mathématique. De nombreux logiciels offrent des possibilités d'analyse de ce type (Regressi (12), Regrelin (13), par exemple), mais la difficulté se situe en fait au niveau de la pertinence des utilisations. Là encore, s'il s'agit de chercher la meilleure estimation de tel ou tel paramètre, il faut s'assurer de l'adéquation entre la méthode et les données expérimentales (cas de la régression linéaire [10, 12, 13]). On accède en fait non pas à une valeur mais à un intervalle de confiance et ce pour chaque paramètre.

Comme dans le premier cas - une seule grandeur - l'objectif des manipulations quantitatives en classe de sciences physiques n'est cependant pratiquement jamais le mesurage. Il s'agit le plus souvent de mettre en évidence une relation mathématique simple et de chercher une première estimation d'un paramètre (dans des activités dites parfois de découverte) ou de montrer l'adéquation d'une relation théorique et de données expérimentales (activité parfois nommée confrontation théorie-expérience ou, abusivement, vérification expérimentale). De nombreux logiciels offrent la possibilité de tracer les courbes représentatives de fonctions mathématiques qui viennent se superposer aux points expérimentaux. Selon les cas, le logiciel trace simplement la portion de courbe correspondant à la fonction donnée et c'est à l'utilisateur d'ajuster les valeurs des paramètres, ou bien utilise une procédure d'optimisation pour obtenir très rapidement une estimation du ou des paramètres. Dans tous les cas il faut noter l'importance du graphisme qui seul, généralement, permet à l'utilisateur de juger de l'adéquation du modèle aux données.



Le Pendule

2.2.2. Calculs de nouvelles grandeurs

Ce sont des fonctionnalités qui se superposent à celles évoquées ci-dessus. En effet, aussi bien les activités de mesurage que celles de recherche d'un modèle empirique nécessitent généralement le changement de variables ou le calcul de grandeurs plus pertinentes que celles directement issues de la mesure. L'ordinateur va évidemment être d'un grand secours puisqu'il pourra calculer et représenter très rapidement toute expression construite à partir des grandeurs mesurées.

Le calcul peut être «élémentaire», c'est-à-dire ne faire intervenir que les quatre opérations de l'algèbre. Ceci permet, par exemple, de calculer l'énergie potentielle à partir de la hauteur, la puissance électrique à partir de l'intensité et de la tension, ou encore des concentrations à partir d'un pH.

Mais le calcul peut utiliser des techniques numériques telles que la dérivation ou l'intégration. On pourra ainsi calculer la vitesse et l'énergie cinétique à partir d'un déplacement suivi au cours du temps (Le Pendule (14), Oscillateur harmonique (15)), calculer la tension aux bornes d'une bobine à partir de la mesure de l'intensité au cours du temps (RLC (16)), ou encore calculer le travail d'une force non constante au cours d'un déplacement [14].

2.2.3. Résolution d'équations différentielles

Une autre possibilité d'analyse mathématique est offerte par la résolution numérique des équations différentielles. Cette fonctionnalité

est essentielle puisqu'elle permet d'accéder à des solutions (numériques) même lorsque l'équation n'est pas résolue analytiquement.

Sur le plan pédagogique, outre le fait qu'au niveau de l'enseignement supérieur elle donne accès à l'étude complète de systèmes non élémentaires [2], cette technique peut prendre tout son sens en classe terminale. En effet, si l'application du théorème du centre d'inertie ou de la conservation de l'énergie mécanique permet d'aboutir assez facilement à l'équation différentielle du mouvement, celle-ci n'est pas nécessairement intégrable. Si ce fait pouvait être jusqu'alors rédhibitoire, il n'en est plus de même maintenant : il est possible de faire une étude théorique quantitative sans qu'elle soit nécessairement analytique. Ainsi, l'étude théorique du pendule pesant peut-elle être faite et comparée au comportement observé expérimentalement sans faire d'hypothèse restrictive sur l'amplitude du mouvement. Il est même possible de montrer qu'une loi de frottement permet bien d'interpréter les écarts résiduels éventuellement constatés. A ceci il faut ajouter que la présentation du principe de l'algorithme de résolution (méthode du premier ordre) peut être le moyen de mieux faire comprendre ce type de relation entre position, vitesse et accélération, et de montrer la nécessité de connaître les conditions initiales [15].

3. L'ORDINATEUR OUTIL PÉDAGOGIQUE

Comme nous l'avons indiqué dans la première partie, l'ordinateur comme machine à enseigner n'a pas eu beaucoup d'échos dans l'enseignement des sciences physiques, et il n'existe que quelques logiciels tutoriels ou d'exercices. L'utilisation la plus recherchée est plutôt celle où l'ordinateur vient aider directement l'enseignant dans son cours ou lors d'une séance de travaux pratiques. Si dans les applications précédemment décrites, l'ordinateur était comparé à un «super-oscillographe», on peut ici le présenter comme un «super-rétro-projecteur», puisqu'il permet de montrer, vite et bien, des données expérimentales, des résultats de traitements, des courbes, des schémas, etc.

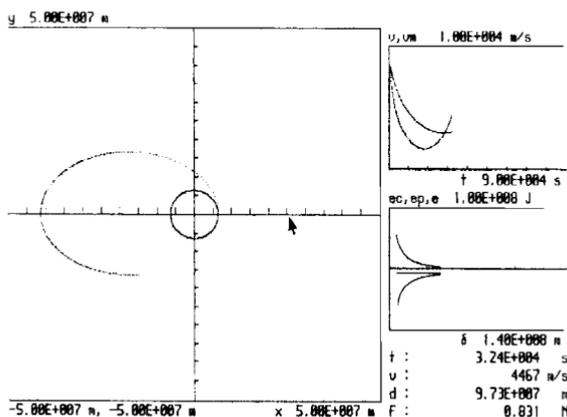
3.1. L'ordinateur comme aide à l'expérience

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction, de nombreux logiciels dits «outils de laboratoire» sont essentiellement conçus pour

3.2. Logiciel comme aide à la représentation

En dehors de l'intérêt que présente l'ordinateur pour la représentation des données expérimentales évoquée ci-dessus, il peut être utilisé pour ses qualités graphiques avec des logiciels exploitant la rapidité des calculs et l'interactivité [19].

Il peut s'agir de logiciels dits de «simulation» où l'intérêt se situe d'abord dans l'obtention rapide de tracés (de trajectoires par exemple) qui autorise l'exploration d'un ou plusieurs modèles en jouant sur les valeurs des variables ou des paramètres. Il est par exemple possible (Multiméca (19)) de voir l'effet de l'air sur la trajectoire d'une balle lancée dans le champ de pesanteur, l'importance de la vitesse initiale dans la trajectoire d'une fusée, ou l'effet d'une modification de l'intensité d'un champ électrique ou magnétique sur la trajectoire d'une particule électrisée.



Multiméca

Il peut s'agir plus spécifiquement de logiciels de type «imagiciels» [20], où l'utilisateur peut modifier la valeur d'un paramètre et observer les conséquences sur l'état ou le comportement du système : modification de la réaction du plan lorsqu'on modifie la force exercée sur un objet posé sur une table [21], évolution de l'image d'un objet se déplaçant sur l'axe optique d'une lentille (Lentilles (20)). Dans ces utilisations ce qui est visé n'est pas la découverte du modèle physique qui régit le système (qui n'est d'ailleurs pas nécessairement utilisé dans la programmation du logiciel), mais la découverte de tel ou tel aspect de son évolution par l'observation des représentations proposées (nombres, courbes, schémas, dessins, etc).

3.3. Remarques

Les logiciels «outil de laboratoire» peuvent évidemment être utilisés à des fins «didactiques». Toutefois, n'ayant pas été conçus dans ce but, ils sont généralement moins adaptés que d'autres à des utilisations pédagogiques de ce type, et ce pour diverses raisons : le résultat important n'est pas distingué a priori des autres, les équations représentatives du traitement ou de la superposition des tracés ne sont pas placées directement en regard, il n'affichent pas les valeurs numériques en grande taille, etc...

En ce qui concerne les logiciels dits de simulation, il faut noter que, s'il est théoriquement possible de proposer des activités scientifiques (démarche allant de l'observation à la modélisation théorique), il n'est pas d'exemple convaincant connu. La difficulté provient en partie du fait que, s'il n'y a pas un lien réel avec des données expérimentales, on reste exclusivement sur un terrain méthodologique qui en fait une utilisation proche des imagiciels (environnement comme aide à l'acquisition d'une démarche ; le modèle sous-jacent pouvant être quelconque) [22].

4. CONCLUSION

A l'heure actuelle on constate donc un intérêt majeur pour des utilisations de type «outil de laboratoire». Mais cet intérêt apparaît parfois comme trop exclusif. On doit en effet remarquer que d'autres utilisations pourraient être justifiées en continuant de se référer à la pratique des laboratoires. C'est le cas de la simulation numérique qui constitue le cœur de travaux menés dans certains laboratoires [23] ; c'est aussi le cas des banques de données qui n'ont pas été évoquées précédemment, faute d'exemple adapté à l'enseignement secondaire français.

Citons ici l'existence d'une concurrence entre deux points de vue en ce qui concerne la «nature» des logiciels : en effet, sans sortir de la spécificité de l'enseignement des sciences physiques au lycée, on peut choisir entre des logiciels «dédiés» (Les Dipôles, Chute, pH, etc), et des logiciels «généralistes» (Regressi). Les idées en la matière évoluent très vite. Il semble que, dans l'état actuel, il convient de choisir des logiciels dédiés pour l'acquisition de données (et une première analyse) et un unique logiciel général pour l'analyse complète. En effet,

l'acquisition des données nécessite une chaîne de mesure (capteurs et dispositif expérimental) adaptée au phénomène étudié ; le logiciel correspondant est donc nécessairement lui-même spécifique. De plus, un premier niveau d'analyse, lui aussi bien adapté à l'approche expérimentale, doit être présent, ne serait-ce que pour le contrôle de la mesure. Par contre, pour une analyse plus poussée ou plus fine, le choix d'un logiciel plus général (tableur-grapheur scientifique) est à privilégier si l'objectif visé est une utilisation par tous les élèves et régulièrement renouvelée.

On a montré enfin, que les fonctionnalités d'acquisition et d'analyse conduisaient à deux modes d'utilisation : l'une en outil de laboratoire, l'autre en outil «didactique». Compte tenu des contraintes actuelles de l'enseignement et des conditions matérielles relatives aux ordinateurs (nombre, nature de l'équipement), c'est le second mode qui est majoritaire. Le premier mode impose en effet une utilisation de l'ordinateur par chaque binôme, donc une salle informatique (facilement accessible), et, de plus, conduit à une réflexion sur les contenus enseignés en sciences physiques et sur l'interdisciplinarité avec les mathématiques et l'option informatique [24].

RÉFÉRENCES

Bibliographie

- [1] M. SCHWOB, F.M. BLONDEL - «Du laboratoire à la salle de cours : utilisation de l'ordinateur en sciences physiques», in Ordinateur en physique-chimie, Paris : INRP-U.d.P., 1985, pp. 9-41.
- [2] A. DUREY - «Avec des micro-ordinateurs faire des sciences physiques d'abord», in Quel type de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales, actes des cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique, Paris : UER de didactique, Université Paris VII, 1984, pp. 583-588.
- [3] A. DUREY, M. SCHWOB - «Les utilisations du micro en sciences physiques : essai de classification», Éducation et Informatique, n° 20, mars-avril 1984, pp. 27-31.
- [4] A. DUREY, J. WINTHER - «Didactique de l'utilisation de l'ordinateur en sciences physiques», infra.
- [5] D. BEAUFILS et al. - «L'ordinateur pour l'enseignement de la mécanique», infra.

- [6] A. LEPRINCE, R. LAGOUTTE - «Présentation d'une utilisation de l'informatique en électricité : étude des dipôles», *infra*.
- [7] M. SCHWOB - «L'informatique et l'enseignement de la chimie», *infra*.
- [8] C. BOUYSSSET, G. TROUILHET - «L'ordinateur outils de laboratoire», *infra*.
- [9] J.C. TRIGEASSOU, D. BEAUFILS - «Analyse de données, méthodes numériques et sciences physiques», *infra*.
- [10] Bulletin Officiel, numéro spécial 3, 1987.
- [11] J.M. BERARD - «CRAB», in Actes des Journées informatique et pédagogie des sciences physiques, Poitiers : U.d.P., 1984, pp. 38-42.
- [12] Y. CORTIAL - «A propos de la méthode des moindres carrés», B.U.P. n° 725, juin 90, pp. 769-791.
- [13] H. GIÉ, R. MOREAU - «Le calcul des incertitudes», B.U.P. n° 691, pp. 159-208.
- [14] A. DUREY, R. JOURNEAUX - «Fiches pédagogiques pour le lycée», in Cours et TP de physique et chimie avec ordinateur, Paris : U.d.P.-INRP, 1987, pp. 47-64.
- [15] D. BEAUFILS, A. DUREY, R. JOURNEAUX - «La simulation sur ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques ; quelques aspects didactiques», in Modèles et simulation, actes des 9^{èmes} journées sur l'éducation scientifique, Paris : Université Paris VII, 1987, pp. 507-514.
- [16] F. SOURDILLAT - «L'ordinateur synthétiseur d'images et auxiliaire du discours pédagogique dans une démarche expérimentale», in Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques, actes des 6^{èmes} journées internationales sur l'éducation scientifique, Paris : Université Paris VII, 1984, pp. 69-72.
- [17] D. BEAUFILS - «Conception et manipulations de physique avec ordinateur : apport d'une expérimentation», in Communication Éducation et Culture Scientifiques et Industrielles, actes des Journées Internationales sur l'éducation scientifique, Paris : UER Paris VII, 1988, pp. 379-386.
- [18] A. MEGEL - «La mécanique sur coussin d'air avec une table à digitaliser», in actes des 4^{èmes} journées informatique et pédagogie des sciences physiques, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 341-344.
- [19] B. DUMONT, A. TEXIER - Atelier «Images et Informatique», in actes des 10^{èmes} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique, Paris : Université Paris VII, 1988, pp. 188-194.
- [20] CNAM - Du tableau noir à l'ordinateur graphique, actes du colloque CNAM, Paris : CNAM, 1986.

- [21] D. BEAUFILS - «Équilibre d'un solide soumis à trois forces», in Cours et TP de physique et chimie avec ordinateur, Paris : U.d.P.-INRP, 1987, pp. 41-46.
- [22] D. BEAUFILS, A. DUREY, R. JOURNEAUX - «L'ordinateur en sciences physiques, quelles simulations ?», in Modèles et simulation, actes des 9^{èmes} journées sur l'éducation scientifique, Paris : Université Paris VII, 1987, pp. 321-328.
- [23] J.F. COLONNA, M. FARGE - «L'expérimentation numérique par ordinateur», La recherche, n° 187, 1987, pp. 444-457.
- [24] F. COUSSON, F. FILIPPI, D. BEAUFILS - «Sciences physiques et informatique, des enseignements à rapprocher», infra.

Matériels et logiciels cités

- (1) Les Dipôles, logiciel, CNDP-Langage et Informatique, 1988.
- (2) Orphy-GTS, interface, Microlec.
- (3) Candibus, interface, Langage et Informatique.
- (4) ESAO3, interface, Jeulin.
- (5) Chronociné, chaîne de capteurs photo-électriques, Jeulin.
- (6) Chute, logiciel, Jeulin, 1989.
- (7) Le pH, logiciel, CNDP-Langage & Informatique.
- (8) Séraphin, logiciel et matériel, Lycée G. de la Tour, Metz, 1989.
- (9) Crab, logiciel, CNDP, 1987.
- (10) Aleacrab, logiciel et adaptateur, Microlec, 1990.
- (11) Logicrab, logiciel et matériel (Banc Crab), Jeulin, 1990.
- (12) Regressi, logiciel, Microlec, 1990.
- (13) Regrelin, logiciel, Logédic, 1989.
- (14) Le Pendule, logiciel, CNDP-Langage & Informatique, 1988.
- (15) Oscillateur Harmonique, logiciel, CNDP-Langage & Informatique, 1990.
- (16) RLC-Circuits oscillants, logiciel, Langage & Informatique, 1988.
- (17) Banc, logiciel, Jeulin, 1988.
- (18) Parabole, logiciel, A. Mégel, Manosque, 1990.
- (19) Multiméca, logiciel, Langage & Informatique, 1990.
- (20) Lentilles, logiciel, U.d.P.