

L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : propositions et implications didactiques

Daniel BEAUFILS

Institut National de Recherche Pédagogique

Unité "Informatique et Enseignement"

91 rue G. Péri

92120 Montrouge

Résumé

Les possibilités de mesurage et de traitement de données des logiciels "outils de laboratoire" pour l'enseignement ne suffisent pas à garantir la cohérence des utilisations. Deux références, l'une épistémologique et l'autre informatique, permettent de préciser le rôle de l'ordinateur comme moyen d'investigation dans des activités de résolution de "questions de physique". Ceci impose alors une évolution des contenus enseignés et des compétences requises chez les élèves.

Abstract

In physics teaching computer is essentially used as a laboratory tool (for measurement and data processing), but without a clear coherence between activities and computational tools. Here, epistemological concepts and computational modelling are used as references to specify didactic activities in which computer is considered as a tool for solving physics problems. This leads to an evolution of the teaching contents and the competences required from the students.

1. L'ORDINATEUR OUTIL DE LABORATOIRE EN QUESTIONS

La présence de l'informatique dans l'enseignement des sciences physiques est caractérisée par le choix d'utiliser l'ordinateur non pas comme machine à enseigner mais "*pour faire de la physique d'abord*" (Durey et al., 1983). Conformément à cette idée, il s'agit alors de concevoir et d'utiliser des logiciels qui possèdent des possibilités de mesurage et des fonctionnalités d'analyse numérique et graphique. Mais il s'agit aussi de viser des activités plus proches de réelles activités de recherche scientifique. Ces idées se sont concrétisées à travers la création d'interfaces analogique-numérique et la réalisation de logiciels. Mais les exemples d'utilisation ne sont pas sans soulever d'importantes questions sur l'adéquation aux compétences des élèves, la dimension expérimentale des activités, la nature des démarches.

En ce qui concerne plus particulièrement le dernier point, les démarches dites "du physicien" présentées aux élèves sont souvent fondées sur une mise en avant exclusive de l'expérience (découverte de loi, induction de théorie, expérience cruciale, etc.), démarches qui sont actuellement critiquées. Si l'alternative centrée sur les méthodes modernes de modélisation relève d'une épistémologie plus satisfaisante en ce qui concerne la relation théorie/expérience, elle reste problématique au niveau de l'enseignement secondaire dès lors qu'elle se place sur un plan **quantitatif et mathématique**. Elle ne peut en effet être mise en œuvre de façon immédiate du fait, en particulier, de la limitation de la complexité des modèles mathématiques et des méthodes informatiques.

Une analyse plus complète conduit à constater que dans la plupart des cas, les outils informatisés ont été isolés de leurs pratiques de référence (Martinand, 1983), et replacés dans l'alignement des contenus, activités et pratiques pédagogiques classiques de l'enseignement ; il y a alors perte de cohérence entre contenu, activités et outils. Dans la suite, nous indiquons comment les références à un "**modèle épistémologique**" et à la modélisation expérimentale peuvent permettre de spécifier **des activités scientifiques** et de définir un **ensemble d'outils informatisés** alors **mis en cohérence** (Beaufils, 1991).

2. DES OUTILS POUR DES ACTIVITÉS D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE

2.1. Cadre général : le "modèle épistémologique"

C'est dans *La structure des révolutions scientifiques* de T. Kuhn (Kuhn, 1983) et la *Construction des sciences* de G. Fourez (Fourez, 1988), que nous avons trouvé la référence la plus **adaptée** à l'enseignement scientifique au ni-

veau secondaire et la plus **féconde**. Un bref rappel de deux des concepts qui nous ont paru pouvoir être ainsi être pris comme des "invariants" pour notre transposition est fait ci-dessous.

Selon T. Kuhn, le travail dans la "*science normale*", se concentre sur les "*énigmes*", c'est-à-dire des problèmes dont la solution peut être obtenue en faisant fonctionner la "*théorie-paradigme*" — la science étant essentiellement "*dirigée vers l'articulation des phénomènes et théories que le paradigme fournit déjà*". En d'autres termes, l'essentiel du travail du physicien-chercheur est donc de résoudre des problèmes de physicien, et ce, en faisant fonctionner les connaissances en cours.

Pour T. Kuhn toujours, mais plus encore pour G. Fourez, "*tout ce qu'on demande du modèle (de la théorie) c'est qu'il nous satisfasse dans nos projets, [...] vérifier une loi c'est moins un processus purement logique que la constatation que la loi nous satisfait*". En d'autres termes **la relation fondamentale entre théorie et expérience est plus fondée sur un processus d'argumentation et de conviction que sur un processus de démonstration et de preuve.**

La transposition à l'enseignement de ce modèle épistémologique, permet d'apporter un certain nombre de réponses aux questions évoquées dans l'introduction. Ainsi, en cours, le rôle de l'enseignant sera-t-il d'abord de montrer comment à l'heure actuelle le physicien interprète tel phénomène, avec quelle théorie et avec quelles méthodes ; en travaux pratiques, l'activité correspondante de l'élève sera centrée sur la résolution de ce que nous appelons "questions de physique".

Ces "questions de physique" — ou, mieux encore, ces "**questions de physicien**" — sont bien sûr des problèmes scientifiques dont la réponse ne peut être donnée que par des méthodes scientifiques — mesures et calculs, en particulier. Mais il s'agit aussi de questions dont la solution ne requiert que la mise en œuvre de concepts ou lois générales préalablement introduits. **La tâche de l'élève est de montrer que les (ses) connaissances de physique correctement appliquées permettent bien de décrire ou d'interpréter tel ou tel phénomène.**

De plus, les solutions de ces problèmes doivent être a priori accessibles aux élèves, et ce point est essentiel. Il s'agit en effet d'une part de la disponibilité des connaissances de physique (et de mathématiques) requises, mais également de la faisabilité technique. Celle-ci est à comprendre non seulement en terme de moyens instrumentaux disponibles, mais également en terme de temps de réalisation, et de ce point de vue l'ordinateur apparaît comme un outil privilégié qui permet d'envisager des études détaillées dans le temps d'une séance de travaux pratiques.

De plus, en référence au concept de conviction, on doit attendre de l'élève qu'il fournisse **sa réponse**, avec à l'appui, non pas une preuve indiscutable, mais **des éléments convaincants** : copies d'écrans montrant la superposition de points expérimentaux et d'un tracé théorique, par exemple. L'évaluation ne portera alors pas sur la comparaison à une certaine conformité attendue, mais sur la cohérence interne de la réponse de l'élève.

2.2. Cadre spécifique : modélisation expérimentale

Si le rôle de l'ordinateur dans les laboratoires se situe parfois dans la prise de mesures, il l'est essentiellement dans leur analyse quantitative et leur modélisation. A l'ordinateur instrument de mesure, il convient alors de préférer **l'ordinateur instrument d'analyse** — la confrontation théorie/expérience devant alors être comprise comme **confrontation modèle/données**.

Nous avons été ainsi conduits à considérer essentiellement deux types de démarches transposées de la "modélisation expérimentale" (Trigeassou, 1988) :

- la description d'un comportement empirique : le système physique ayant été défini, les mesures ayant été effectuées, l'objectif est de trouver une **description mathématique** du comportement ainsi suivi ; cette étape est fondamentale, car elle traduit le passage à une représentation quantitative formelle et calculable, qui peut alors devenir elle-même un nouveau référent empirique ;
- l'interprétation d'un comportement empirique : il s'agit cette fois d'en produire une **interprétation théorique** par une démarche hypothético-déductive : modélisation théorique du système et du phénomène, application des relations fondamentales, des hypothèses spécifiques, calculs, confrontation aux données. La procédure peut alors conduire à l'ajustement de la valeur d'un paramètre, l'objectif final étant de valider le modèle en montrant qu'il permet bien de rendre compte des mesures.

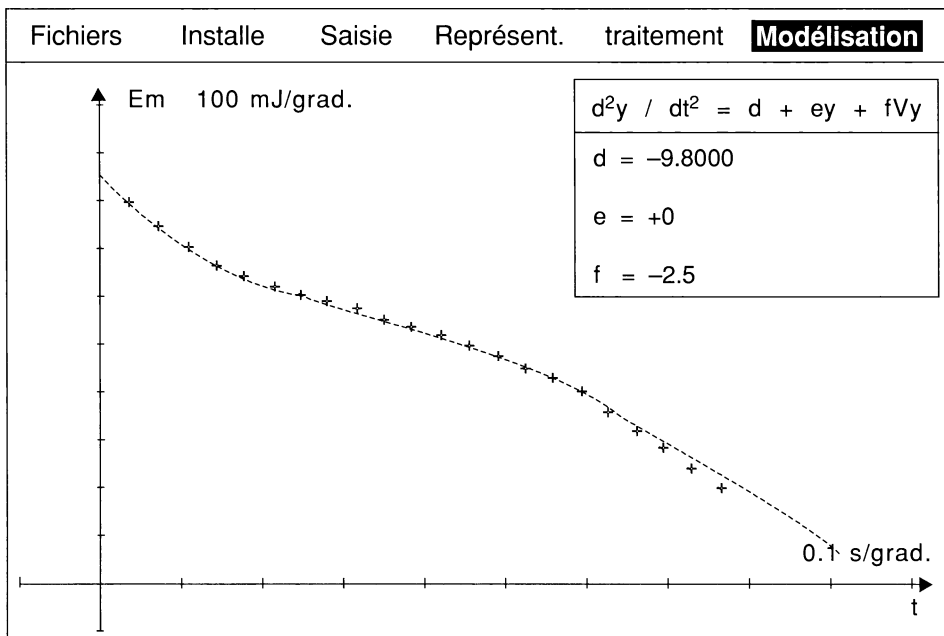
En relation avec ces démarches, nous avons spécifié un ensemble d'outils numériques également répartis en trois classes :

- le calcul et la représentation de grandeurs : fonctionnalités de base qui permettent de choisir les grandeurs adaptées et les représentations pertinentes,
- le tracé de courbes et le calcul de l'écart quadratique : pour obtenir les tracés de fonctions mathématiques pouvant modéliser des données expérimentales,
- la résolution d'équations différentielles : pour obtenir les solutions numériques d'équations que les élèves peuvent écrire mais ne peuvent pas résoudre analytiquement (et dont la représentation graphique est également superposable aux points expérimentaux).

L'exemple donné ici concerne la trajectoire d'un objet léger (balle, volant, etc). Une chronophotographie du mouvement met en évidence un fort ralentissement qu'il convient d'interpréter. En termes de physicien, la question s'énonce : **quelles peuvent être les caractéristiques de la force de frottement de l'air qui permettraient d'interpréter ce freinage ?**

La réponse passe alors par la mesure des positions successives et la comparaison au comportement théorique (cinématique ou énergétique), ces deux phases étant rendues possibles par l'utilisation d'un moyen informatisé adapté : logiciel permettant l'utilisation d'une tablette à numériser pour le mesurage et comportant les outils numériques indiqués ci-dessus (réalisé dans le cadre de cette recherche (Beaufils, 1992)). Le déroulement peut alors être le suivant :

- hypothèse de départ : la force est de la forme $-k.V$,
- établissement théorique des équations différentielles du mouvement,
- relevé des positions au cours du temps,
- choix d'une première valeur de k ,
- détermination des conditions initiales et lancement de la simulation (résolution numérique des équations différentielles),
- ajustement de la valeur de k .



Exemple d'écran confrontation modèle théorique/points expérimentaux

3. IMPLICATIONS DIDACTIQUES

3.1. L'extension du champ empirique

La présentation ci-dessus conduit évidemment à considérer l'enjeu de l'introduction de l'ordinateur comme celui de l'évolution des contenus et méthodes enseignés. Ceci ne sous-entend pas pour autant l'augmentation du niveau des connaissances fondamentales de physique et de mathématiques mais, par **la modification des méthodes d'investigation, l'extension du champ empirique d'application des connaissances "classiques"** : ainsi, les vitesses initiales ne sont plus systématiquement nulles, les systèmes ne sont plus uniquement conservatifs, etc. Les méthodes informatisées rendent possibles des études quantitatives, dans le cadre des connaissances de base, et sans augmentation de la part de calcul analytique.

3.2. Compétences requises et difficultés des élèves

Les observations d'élèves qui ont été effectuées dans le cadre de cette recherche se sont, pour une part, appuyées sur l'analyse d'une démarche schématisée en quatre étapes : observer et analyser, organiser les étapes de la résolution, réaliser, conclure. A ce niveau, nous avons ainsi retrouvé des difficultés déjà connues : absence de planification préalable et attitude réservée vis-à-vis de la manipulation du dispositif de mesure, notamment.

L'analyse complémentaire effectuée sur l'utilisation de méthodes de calcul informatisées nous a conduits à préciser les différentes capacités requises : savoirs et savoir-faire relatifs aux méthodes numériques et graphiques, savoir-faire relatifs à leur mise en œuvre dans des activités d'analyse de données expérimentales ou d'étude de modèles théoriques. Une expérimentation auprès d'élèves de Terminale scientifique a permis de repérer un réel **obstacle**, caractérisé par une forte résistance à la compréhension et l'acceptation des méthodes numériques qui obligent à quitter le domaine du continu et de l'analytique : dérivation sur points expérimentaux et intégration d'équations différentielles par itération.

3.3. Conséquences pour l'enseignant

Les difficultés ci-dessus peuvent se traduire en termes de conditions nécessaires à l'intégration — dans l'enseignement de la physique au lycée — d'un ordinateur réellement considéré comme "outil d'investigation scientifique".

Ainsi, la conduite des démarches de modélisation ne peut se faire sans considérer la phase de planification (qui précède la réalisation proprement dite) comme une **activité négociée** entre les élèves et l'enseignant ; celui-ci aide à la formulation d'hypothèses et à l'utilisation des outils informatisés, notamment. Si les élèves jouent le rôle des "chercheurs", l'enseignant doit alors jouer à la fois celui de "directeur de recherche" et celui de "technicien".

D'autre part, l'introduction de nouveaux outils et de nouvelles méthodes s'accompagne de celle de nouveaux savoirs et savoir-faire. Il s'agit bien sûr de compétences informatiques générales mais également de **connaissances spécifiques aux sciences physiques** : savoir utiliser un tableur-grapheur pour analyser des mesures, une méthode numérique de résolution d'équation différentielle, etc. Mais l'utilisation de ces méthodes ne peut s'envisager sans une explication préalable des modes de calcul qui ne peut se réduire à un simple exposé des principes : il convient de gérer à la fois une introduction progressive et une mise en situation cohérente des différentes méthodes. Enfin, ceci sous-entend l'évaluation d'une nouvelle capacité alors requise chez les élèves : **savoir utiliser des outils informatisés**.

BIBLIOGRAPHIE

BEAUFILS D. & LE TOUZÉ J.C. (1990). Analyse de données expérimentales, quelle démarche, quels outils. In NONNON P. & VIVET M. (Eds), *Deuxième congrès international de Robotique Pédagogique*. Montréal, Université de Montréal.

BEAUFILS D. (1991). L'informatique dans les sciences physiques au second degré, problématique générale et quelques conséquences sur les contenus. In *Informatique et apprentissages*. Paris, INRP et ISHA.

BEAUFILS D. (1991). *Ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques, propositions pour la construction d'activités, première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves de lycée* (thèse). Paris : Université Paris VII.

BEAUFILS D. (1992). Des connaissances informatiques pour les sciences physiques. In BARON G.-L. et BAUDÉ J. (Eds), *L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants*. Paris, INRP et EPI.

DUREY A. (1987). *Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs* (Thèse d'État). Paris, Université Paris VII.

DUREY A. (1989). Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs. *Aster*, 8, pp. 161-186.

DUREY A., LAURENT M. & JOURNEAUX R. (1983). Avec des micro-ordinateurs faire de la physique d'abord. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 652, pp. 757-780.

FOUREZ G. (1988). *La construction des sciences*. Bruxelles, De Boeck Université.

KUHN T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.

MARTINAND J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. In *Recherche en Didactique de la Physique*. Paris, CNRS, pp. 227-249.

MARTINAND J.-L. (1992). Présentation. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, pp. 7-22.

TRIGEASSOU J.C. (1988). *Recherche de modèles expérimentaux assistée par ordinateur*. Paris : Tec & Doc Lavoisier.