

## Sciences physiques et informatique des enseignements à rapprocher

par Françoise COUSSON, Lycée Richelieu, 92500 Rueil-Malmaison  
Francis FILIPPI, Lycée Bergson, 75000 Paris  
Daniel BEAUFILS, INRP, 92120 Montrouge

---

L'enseignement des disciplines scientifiques passe de plus en plus par l'utilisation de l'ordinateur et de moyens informatisés, or l'enseignement de l'informatique ne fait aujourd'hui l'objet que d'une option, ce qui ne touche qu'une minorité d'élèves.

L'objectif de cet article est de tenter de mettre en évidence, d'une part, l'utilité de connaissances «d'informatique» dans un enseignement des sciences physiques intégrant l'ordinateur en tant qu'outil de laboratoire et, d'autre part, l'étroite relation de ces deux enseignements au niveau de certains savoirs et savoir-faire.

### 1. UTILITÉ D'UNE COMPÉTENCE «INFORMATIQUE» POUR LES ÉLÈVES DES CLASSES SCIENTIFIQUES

Le premier argument généralement avancé pour justifier l'introduction de l'informatique relève d'une argumentation sociale : il est aujourd'hui difficile de parler de culture ou de formation scientifique sans prendre en compte l'informatique à la fois outil et discipline scientifique elle-même. L'autre argument est d'ordre pédagogique : l'utilisation de l'ordinateur passe, tout comme celle de l'oscilloscope, par une information concernant son fonctionnement, et ce au moins au niveau du principe.

Nous voudrions aller au-delà de ces points de vue généraux et montrer par des exemples précis que l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques entraîne nécessairement l'acquisition d'une compétence «informatique» ; sans elle certaines activités de travaux pratiques seraient inaccessibles et certaines démonstrations de cours resteraient mystérieuses.

### 1.1. Des compétences générales

Le premier niveau de compétence des élèves est évidemment celui de la manipulation de l'ordinateur. Ceci va de la connaissance minimale du clavier (touche de déplacement du curseur, validation, touche d'échappement, pavé numérique, etc) à celle plus «théorique» de concepts de base tels que la mémoire centrale, le catalogue, les fichiers, etc, en passant par l'acquisition de «réflexes classiques» (sauvegarde, échappement en cas d'erreur, apple d'aide en ligne, etc).

### 1.2. Des connaissances générales liées à des utilisations scientifiques

Différentes expérimentations pédagogiques d'utilisation de l'ordinateur ont permis de voir que les élèves connaissent sa légendaire puissance de calcul et ses possibilités graphiques à travers des logiciels ludiques, mais n'imaginent pas pour autant clairement, que l'on puisse l'utiliser pour faire de l'analyse de données ou l'étude de modèles mathématiques !

Que le cours de sciences physiques soit l'occasion de montrer sur des cas concrets et pertinents de tels exemples d'utilisation, cela va de soi. Mais faire découvrir aux élèves à la fois un fait expérimental, son interprétation théorique, un logiciel de traitement, et le fait même que l'ordinateur est capable de tracer des courbes mathématiques et d'optimiser les paramètres, peut devenir une gageure. La connaissance du concept de tableur et de grapheur (traceur de courbes) apparaît donc ici comme un prérequis.

Il faut noter qu'un certain nombre de connaissances, semblant aller de soi, ne sont, en fait, pas évidentes pour les élèves. Il peut s'avérer nécessaire, par exemple, de leur expliquer comment la courbe représentative d'une fonction mathématique définie analytiquement est obtenue sur l'écran. Les notions d'échantillonnage de la variable et d'arrondi au pixel peuvent, en particulier, servir à expliquer les limites de qualité d'un tracé (effet de crénelage) et de précision d'un pointé fait par une cible.

A cet ensemble qui concerne essentiellement la représentation et l'analyse de données, il faut ajouter ce qui concerne la connexion de l'ordinateur sur l'extérieur. En effet, en sciences physiques les élèves sont amenés à utiliser des interfaces de mesure. Là encore, le concept même d'interface et de périphérique (présenté à travers des exemples

variés : de l'imprimante à la table à numériser, par exemple) devrait pouvoir être considéré comme un prérequis.

### 1.3. Des connaissances spécifiques

Il s'agit cette fois de connaissances liées directement aux méthodes informatiques mises en œuvre pour des analyses numériques ou mathématiques ou lors de mesures avec acquisition.

En ce qui concerne l'analyse, il est clair qu'utiliser l'ordinateur pour des calculs de fonctions, des résolutions d'équations, etc, ne doit pas revenir, pour l'élève, à remplacer des mathématiques incomprises par une informatique toute aussi mystérieuse. Là aussi, différentes expérimentations ont permis de voir les difficultés des élèves devant des résultats de calcul dont ils ne maîtrisaient pas la nature. Par exemple :

- la dérivation numérique sur points expérimentaux, qui selon les méthodes utilisées peut conduire à de véritables nuages de points qui laissent les élèves perplexes, ou à des tracés qui ne sont plus clairement distingués de résultats analytiques,
- la résolution numérique des équations différentielles, qui effectuée pas à pas, en partant des seules conditions initiales, sans passer par une résolution analytique, est loin d'être évidente pour la plupart des élèves. Une fausse interprétation les amène là aussi à ne pas voir de différence fondamentale entre le tracé d'une courbe définie analytiquement et le résultat d'une résolution par un calcul itératif. Dans certains cas il peut même y avoir confusion entre le tracé de la solution numérique  $y(x)$  et un tracé représentatif de  $y'' = f(x, y, y')$ .

En ce qui concerne l'acquisition de données, il est facile d'énumérer un certain nombre d'obstacles à franchir. Si le fonctionnement des interfaces en tant que convertisseur analogique-numérique doit effectivement faire partie d'un cours de physique, la connaissance préalable de la notion d'échantillonnage et de codage binaire peut aider à une meilleure compréhension et permettre de déjouer les pièges des arrondis «étranges» (2.99999 au lieu de 3), de l'illusion de la continuité (on peut passer par exemple, directement, de 11.578 à 14.963), des effets de palier (deux mesures réalisées avec un intervalle de temps trop court pour que la variation de la grandeur soit supérieure au pas d'échantillonnage), et, *in fine*, de prendre en compte ces considérations dans les estimations des incertitudes.

## **2. OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES COMMUNS EN SCIENCES PHYSIQUES ET INFORMATIQUE**

Nous avons montré ci-dessus qu'un certain nombre de connaissances d'informatique pouvaient être très utiles à une réelle utilisation de l'ordinateur en sciences physiques. Montrons maintenant que, de plus, il existe un certain nombre d'objectifs qui sont soit communs aux deux disciplines, soit en étroite relation.

### **2.1. Des objectifs de méthode : des savoir-faire de résolution de problèmes**

Au niveau de l'apprentissage de méthodes générales, ces deux disciplines, tout comme l'enseignement des mathématiques d'ailleurs, visent l'acquisition de méthodes de travail, allant de la rigueur d'expression à l'analyse critique des résultats.

Sans chercher à détailler plus, citons l'exemple de la résolution de problèmes, où la méthode générale passe par quatre grandes étapes : savoir aborder et analyser une question, planifier la résolution, effectuer la réalisation ou la résolution, et enfin communiquer le résultat [1].

### **2.2. Des objectifs de contenu : vertus pédagogiques d'une programmation simple**

La programmation pourrait sembler a priori relever uniquement de l'informatique. Mais ceci serait négliger qu'une partie de l'activité de certains chercheurs est précisément la réalisation de programmes qui permettent la saisie de données, leur analyse ou l'expérimentation sur modèle. Il existe d'ailleurs au niveau pédagogique [2], [3], [4], [5], tout un courant qui appuie l'enseignement de la physique sur la réalisation de programmes (ou de parties de programme) permettant à l'élève de tester ses hypothèses dans une activité de modélisation. C'est dans ce sens que nous voudrions montrer, à travers quelques points précis, que la programmation peut avoir des vertus pédagogiques du point de vue de l'enseignement des sciences physiques [6].

Au niveau de l'acquisition de données par exemple, il est facile de faire réaliser par les élèves le court programme qui permet de «récupérer» le code numérique envoyé par l'interface et de le convertir en tension, ou mieux, en la grandeur mesurée. Ainsi, le suivi d'un mouvement par un potentiomètre (cas des oscillations mécaniques en particulier [7]) nécessite-t-il de passer par la formule de conversion qui

fait intervenir, du point de vue du physicien, le choix du zéro et l'étalonnage du dispositif d'acquisition. Ces deux aspects sont fondamentaux pour la prise en compte des erreurs de mesure, mais trop souvent occultés.

En ce qui concerne la représentation des données expérimentales, on sait également les difficultés des élèves à déterminer des échelles correctes à partir de la donnée des extrema des grandeurs à représenter. Dans les cours de physique cette activité n'est proposé qu'un nombre limité de fois et pour des études spécifiques. La programmation d'un petit module de mise en page automatique de graphique, permettrait donc à la fois de franchir l'obstacle de la détermination des échelles et d'aborder la question à un niveau général. De plus, il peut alors être mis en évidence l'effet «pervers» de l'automatisation que l'on constate dans certains logiciels, qui fait, par exemple, que toute droite est la diagonale de l'écran !

En ce qui concerne les calculs, la programmation peut avoir une importance sur le plan de la concrétisation de certaines techniques, et sur celui de la compréhension de certaines règles. C'est le cas de la dérivation numérique qui permet de faire le lien, en mécanique par exemple, entre vitesse instantanée, vitesse moyenne, calcul d'accroissements finis et fonction dérivée [8]. De même, la programmation de la résolution d'une équation différentielle, outre le fait qu'elle permet de bien voir comment les résultats sont obtenus [9], met en évidence la nécessité de deux valeurs initiales (pour une équation du second degré) : pour le mathématicien ce sont les deux constantes d'intégration, pour l'informaticien c'est l'affectation initiale des deux variables, et pour le physicien ce sont les deux conditions initiales.

En ce qui concerne plus particulièrement la simulation sur ordinateur, la programmation même partielle de la boucle de calcul [2] [3] permet de concrétiser la différence entre variables et paramètres d'un système, ainsi que les notions mêmes de modèle et de modélisation.

### 3. CONCLUSION

#### 3.1. Un rôle indiscutable de l'informatique

Cette analyse détaillée montre, nous semble-t-il, l'importance d'un prérequis «informatique» pour une réelle utilisation de l'ordinateur en sciences physiques.

Ces prérequis commencent par la connaissance très générale de l'ordinateur et de ses utilisations. En ce qui concerne la machine, il ne s'agit pas bien sûr d'une connaissance technique précise, mais d'une représentation mentale exacte et utilisable de ce qu'est un ordinateur, avec ses entrées, ses sorties, sa mémoire de travail, sa mémoire de masse, etc. En ce qui concerne les utilisations que l'on peut en faire, il ne s'agit pas là non plus d'une maîtrise de toutes ses utilisations mais de connaissances fonctionnelles générales : changement de répertoire, lancement d'un programme, validation, échappement, ...

Nous pensons avoir montré également, à travers quelques exemples précis, qu'en ce qui concerne les utilisations spécifiques aux sciences physiques il existe également des prérequis qui relèvent de l'informatique : remplissage des cellules d'un tableur, définition de nouvelles variables, entrée des formules respectant une syntaxe, sélection de colonnes, etc. Dans le domaine de l'utilisation des outils numériques nous avons d'ailleurs tenté une classification s'appuyant sur les grilles de capacités [1] qui met en évidence ce qui relève d'un enseignement d'informatique ou d'un enseignement de sciences physiques, et qui montre ce qui peut être considéré comme un prérequis à la conduite d'activités d'analyse de données en physique (en annexe).

Ajoutons ici qu'une approche informatique peut résoudre des «conflits» de coordination entre l'enseignement des sciences physiques et celui des mathématiques, le «physicien» souhaitant souvent que telle ou telle notion soit présentée d'abord par le «mathématicien» ou vice versa. A ceci s'ajoute le fait que la formulation mathématique n'est, parfois, guère opératoire en physique. Le passage par certaines techniques numériques informatisées peut aider à introduire certaines notions comme la dérivation, l'intégration, les équations différentielles et permettre des calculs quantitatifs sans avoir à passer par des méthodes analytiques (le cours de mathématiques peut ensuite établir dans la rigueur tel ou tel résultat ou propriété).

### **3.2. Le lien avec l'actuelle option informatique**

En ce qui concerne les connaissances générales évoquées ci-dessus, il va de soi que les élèves qui suivent l'option informatique les acquièrent rapidement. Ce sur quoi nous voudrions insister, c'est sur le fait que cet enseignement, s'il est dispensé à tous les élèves (d'une même classe au moins), assure une qualité et une homogénéité qui est contrôlable, et autrement plus satisfaisante, que les «compétences»

acquises empiriquement par ceux qui, par exemple, disposent chez eux d'une machine.

En ce qui concerne les explications plus détaillées (sur l'acquisition ou les méthodes numériques), il est facile de voir qu'elles s'appuient sur les notions de variable, d'affectation, de tableau et d'itération qui sont précisément les notions de base en programmation enseignées en informatique.

On voit donc ici qu'une *relation étroite* peut être établie entre l'enseignement actuel et l'option informatique (en classe de seconde et première) et un enseignement de la physique intégrant l'utilisation de l'ordinateur.

Un tel rapprochement peut même aller jusqu'à la présentation sous un angle différent mais *complémentaire*, de logiciels de physique dans les cours d'informatique, dans le cadre de la présentation «d'utilisations concrètes de [...] didacticiels» et de «quelques exemples d'applications de l'informatique telles que : gestion, calcul scientifique, dessin assisté par ordinateur, banques de données, simulation, [...]» [10].

### 3.3. Conclusion

L'utilisation de l'ordinateur comme outil de laboratoire (acquisition, analyse) passe par l'acquisition de prérequis informatiques. L'argument général est qu'il n'est pas raisonnable d'envisager l'introduction de ces connaissances (pour la plupart) dans le cours de physique : l'accumulation d'objectifs, de savoirs et de méthodes, à la fois de physique expérimentale, de physique théorique et d'informatique, constitue inévitablement un obstacle pour les élèves. Inversement, les éluder n'est ni satisfaisant, ni réellement possible, si les élèves sont, ou deviennent, eux-mêmes utilisateurs.

L'enseignement actuel de l'informatique (option informatique) apparaît, d'une part, comme la discipline où sont déjà introduites un certain nombre de ces connaissances (tant sur le plan de la programmation que sur celui de l'utilisation de fonctionnalités logicielles générales), et d'autre part, comme le lieu privilégié pour donner aux élèves les informations préalables ou complémentaires concernant certaines utilisations de l'ordinateur qui sont faites en classe de physique.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Utiliser les objectifs de référence en sciences physiques, CNDP-Ministère de l'Éducation, 1990, vol. 6., 120 p.
  
- [2] T. ALLEN - Le «Dynamic Modelling System» et son utilisation en sciences physiques, in Actes des troisièmes journées informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, Paris : INRP-U.d.P., 1988, pp. 217-220.
  
- [3] S.-P. JONA - Expériences et modèles dans les phénomènes thermiques, in Actes des quatrièmes journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, Paris : INRP-U.d.P., 1990, pp. 83-88.
  
- [4] A. TEXIER - Des Ailes pour la tortue, CNDP, 1985, 177 p.
  
- [5] J. -C. CHATILLON - Mon petit ordinateur portable, B.U.P., n° 728, pp. 1221-1239.
  
- [6] D. BEAUFILS, R. JOURNEAUX - Physiques et informatique, une approche programmatique, Versailles : CARFI, à paraître.
  
- [7] D. BEAUFILS et al. - L'ordinateur pour l'enseignement de la mécanique, infra.

- [8] O. DE GOEYSE - Chute libre d'une bille, in Fiches pratiques d'utilisation de l'informatique en classe de physique et chimie, Paris : U.d.P.-INRP, 1990, pp. 23-36.
- [9] L. SOUROUILLE - Une autre façon d'aborder le calcul, l'informatique et la physique : résolvez vos équations différentielles avec un tableur, EPI, n° 49, 1988, pp. 96-108.
- [10] Option Informatique, CNDP, coll «Horaires, objectifs, programmes, instructions», 1987.

## ANNEXE : METHODES NUMERIQUES ET GRILLE DE CAPACITES

CONNAISSANCES SPECIFIQUES A L'INFORMATIQUE		SAVOIR-FAIRE EN SCIENCES PHYSIQUES	
SAVOIRS (A1)	SAVOIR-FAIRE (A2)	SAVOIR UTILISER DES OUTILS INFORMATIQUES (B3 bis)	PRATIQUER UNE DEMARCHE SCIENTIFIQUE (C1)
TABLEUR - GRAPHEUR	Savoir entrer des données dans un tableau. Savoir définir des colonnes. Savoir sélectionner des représentations graphiques.	Savoir utiliser un tableur-grapheur (ou les fonctionnalités correspondantes) pour représenter des données expérimentales.	Trouver par définition de grandeurs et/ou changement de variable une représentation pertinente.
TRACER DE COURBES (sur écran)	Savoir entrer une expression mathématique (syntaxe), définir le pas, les bornes (intervalle d'étude) et obtenir la représentation correspondante.	Savoir utiliser un traceur pour représenter le comportement d'un système (une variable en fonction d'une autre, influence d'un paramètre).	Etudier le comportement théorique d'un système dont le modèle est explicite. Mettre en évidence un comportement particulier.
CIBLE	Savoir utiliser une cible pour repérer un point, interpoler, extrapoler.		Trouver une estimation numérique d'une variable ou d'un paramètre qui correspond à un point particulier du comportement.
ECART QUADRATIQUE - définition - existence d'un minimum - calculs analytiques du minimum (régression) - méthodes itératives	Savoir interpréter les variations d'un écart quadratique. Savoir utiliser la variation pour rechercher la valeur optimale d'un paramètre.  Savoir initialiser un processus d'optimisation par itération et choisir (s'il y a lieu) le pas du calcul.	Savoir utiliser l'écart quadratique pour rechercher une estimation d'un paramètre. Savoir utiliser une méthode de régression pour estimer les paramètres d'un modèle descriptif.  Savoir utiliser l'écart quadratique pour estimer une incertitude, un domaine de validité.	Juger de l'adéquation d'un modèle à des données expérimentales. Juger de la pertinence d'une utilisation d'une technique de régression. Juger du résultat donné par une méthode itérative. Juger de la qualité des mesures, de la fiabilité d'une estimation, et de l'adéquation d'un modèle.

CONNAISSANCES SPECIFIQUES A L'INFORMATIQUE		SAVOIR-FAIRE EN SCIENCES PHYSIQUES	
SAVOIRS (A1)	SAVOIR-FAIRE (A2)	SAVOIR UTILISER DES OUTILS INFORMATIQUES (B3 bis)	PRATIQUER UNE DEMARCHE SCIENTIFIQUE (C1)
<p>DERIVATION NUMERIQUE</p> <p>Méthode : .du 2ème ordre .avec lissage</p>	<p>Savoir choisir le pas du calcul d'une dérivée numérique sur une fonction.</p> <p>Savoir interpréter l'amplification du bruit dans le cas d'un calcul sur points expérimentaux.</p>	<p>Utiliser la dérivation numérique pour calculer vitesse, accélération tension aux bornes d'une bobine, ..</p> <p>Utiliser la dérivation numérique pour abaisser le degré dans la recherche d'un modèle polynomial, et dans les cas où la représentation est plus simple à interpréter.</p>	<p>Juger de la qualité des mesures avant d'effectuer une dérivation numérique.</p> <p>Choisir entre une méthode sans lissage et une méthode avec lissage (juger du bruit et de la corrélation introduite).</p> <p>Savoir utiliser des représentations faisant intervenir les dérivées première et seconde pour l'analyse de phénomènes régis par des équations différentielles.</p>
<p>INTEGRATION NUMERIQUE</p> <p>Méthode : .du 1er ordre .du 2ème ordre</p>	<p>Savoir choisir le pas du calcul d'une intégrale numérique d'une fonction.</p>	<p>Utiliser l'intégration numérique pour calculer un travail, la tension aux bornes d'un condensateur, etc.</p>	
<p>RESOLVEUR D'EQUATIONS DIFFERENTIELLES</p>	<p>Savoir entrer une équation différentielle sous la forme :</p> $y' = f(x,y)$ <p>ou</p> $y'' = f(x,y,y')$ <p>Savoir donner les conditions initiales et l'intervalle d'étude.</p> <p>Savoir choisir le pas du calcul.</p>	<p>Utiliser un solveur d'équations différentielles en mécanique et en électricité, lorsque le système est décrit par une équation différentielle, et principalement dans les cas où il n'y a pas de solution analytique accessible.</p> <p>Identifier les conditions initiales physiques et l'initialisation des variables de la résolution numérique.</p>	<p>Étudier le comportement théorique d'un système décrit par un modèle implicite.</p> <p>Mettre en évidence un comportement particulier, une valeur particulière d'un paramètre physique.</p> <p>Trouver une solution numérique à un problème.</p>