

## Informatique et enseignement des sciences physiques et chimiques

---

L'informatique a profondément modifié de nombreux secteurs de notre société. De toutes les disciplines de l'enseignement, les sciences physiques sont celles pour qui l'ordinateur offre le plus de possibilités :

- traitement de textes pour la réalisation de documents scientifiques,
- interfaces pour capter des données ou piloter des expériences,
- tableurs, grapheurs, solveurs... pour traiter, représenter et modéliser,
- logiciels d'aide à l'enseignement...

Pourtant, paradoxalement l'informatique est beaucoup moins utilisée dans l'enseignement des sciences physiques qu'elle ne l'est dans les laboratoires industriels et de recherche.

L'U.d.P. s'est interrogée sur ce phénomène et est arrivée à la conclusion que les programmes scolaires, sous leur forme actuelle, n'étaient pas adaptés à l'utilisation de l'informatique.

L'informatique ne pourra entrer dans les pratiques qu'à la condition que ses utilisations, en sciences physiques figurent **explicitement** dans les programmes.

C'est la raison pour laquelle la Commission informatique de l'U.d.P. a rédigé un texte qui a été soumis au Bureau National et au Conseil et envoyé aux Groupes techniques disciplinaires du Conseil National des Programmes afin qu'ils tiennent compte des propositions de l'association lors de la rédaction des projets de programmes.

L'importance du débat n'échappera à personne et c'est la raison pour laquelle nous sollicitons des professeurs, intéressés par ce problème des suggestions, des réflexions ou des opinions.

Écrire à Jean WINTHER

U.d.P. - 44, bld Saint Michel - 75270 PARIS Cedex 06.

### *Texte*

#### INTRODUCTION

L'usage de l'informatique s'est généralisé dans les sociétés scientifiques et industrielles et le système éducatif ne peut ignorer ce phénomène.

Dans le domaine scientifique, l'arrivée de l'informatique a entraîné une extension des champs de recherche et une accélération dans la production de résultats, fruits de la modification des méthodes d'investigation qu'elle a engendrée. C'est d'abord une évolution correspondante sur le plan méthodologique qu'il convient d'opérer dans l'enseignement des sciences physiques.

## L'INFORMATIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES

L'ordinateur doit être considéré d'abord comme **un outil d'investigation scientifique** ; ses utilisations comme «auxiliaire pédagogique», qu'il ne faut pas ignorer par ailleurs, ne relèvent pas du même enjeu.

Ce rôle d'outil d'investigation scientifique conduit à utiliser l'ordinateur dans trois directions privilégiées :

- comme instrument d'étude de phénomènes physiques que les moyens traditionnels ne permettent pas d'aborder parce que ce sont des phénomènes trop rapides, des phénomènes trop lents, des phénomènes trop complexes,
- comme instrument de représentation de données,
- comme instrument de modélisation.

Ces trois domaines mettent en œuvre les possibilités des ordinateurs, de leurs logiciels et de leurs périphériques :

- acquisition automatique de données,
- représentations,
- calculs et traitements,
- stockage et gestion de l'information.

De telles utilisations peuvent être introduites de façon pertinente dans l'enseignement de la physique au lycée : il existe, dans le champ d'application des concepts et lois de la physique et de la chimie, des systèmes et des phénomènes dont l'étude ne constitue **une tâche réaliste** que par la disponibilité de moyens informatisés. Il en est ainsi de l'étude quantitative des frottements, des oscillateurs non-harmoniques, des régimes transitoires, des désintégrations nucléaires, de certains problèmes d'électricité, de certaines cinétiques chimiques, etc.

Pour d'autres phénomènes l'utilisation de moyens informatiques permet de mettre en œuvre des activités de représentation et de modélisation impossible à réaliser dans le cadre traditionnel, en raison du temps imparti et de la complexité des outils mathématiques nécessaires.

L'ordinateur devient un «super oscilloscope à mémoire» doublé d'un outil de calcul et de traitement.

L'ensemble de ces utilisations impliquent l'acquisition de **nouveaux savoirs et savoir-faire spécifiques** aux sciences physiques, qui concernent à la fois l'utilisation technique d'outils informatiques (tels les tableurs) et la conduite de démarches scientifiques (telle la mise au point de modèles physico-mathématiques). Leur introduction doit se concevoir de façon progressive, en cohérence avec les compétences acquises parallèlement en mathématiques. Dans la grille d'évaluation, une nouvelle capacité de type B doit être explicitement prise en compte, mise en parallèle avec l'utilisation des mathématiques : l'utilisation d'outils informatisés.

Le découpage devient alors le suivant :

- B1 accéder aux connaissances au moyen de différentes sources,
- B2 utilisation de la langue française,

- B3 utiliser des outils mathématiques,
- B4 utiliser des outils informatisés,
- B5 utiliser les autres moyens d'expression.

Insistons sur le fait que cette introduction progressive de l'utilisation de logiciels doit se faire avec des objectifs spécifiques à l'enseignement des sciences physiques :

- enrichir la compréhension des phénomènes physiques et des modèles par l'examen expérimental de leurs comportements en fonction de divers paramètres,
- étudier certains problèmes par la mise en œuvre de modèles dont la résolution numérique manuelle serait trop lourde ou trop complexe,
- mieux cerner la notion de domaine de validité d'une hypothèse ou d'une méthode par l'étude de cas limites.

Ainsi par exemple, l'acquisition et le traitement de données permettra en gagnant sur le temps que les élèves consacrent à des calculs souvent longs et répétitifs et à des tracés fastidieux, de :

- multiplier les expériences en faisant varier les conditions expérimentales,
- mettre en évidence les incertitudes, et renforcer la relation entre le comportement expérimental observable et la modélisation théorique du système.

L'utilisation de logiciels ou de programmes de simulation permettra également d'explorer le comportement des phénomènes à la fois qualitativement et quantitativement, tout en constituant une aide importante au développement du sens physique des élèves.

Il est clair que l'ensemble de ces objectifs ne peut être atteint sans que les élèves **utilisent eux-même** l'ordinateur lors de séances de type travaux dirigés ou travaux pratiques.

Nous proposons, ci-dessous une progression concernant les outils informatiques à mettre en œuvre aux différents niveaux.

Dans une deuxième partie, nous listerons quelques exemples de physique et de chimie particulièrement pertinents quant à l'utilisation de ces méthodes.

## NIVEAU 1 : CLASSE DE SECONDE

### • Acquisition de données

Introduction du concept d'interface à propos d'une acquisition semi-automatique.

Principe simplifié d'un convertisseur analogique numérique.

*Un ou plusieurs capteurs permettent de suivre une ou plusieurs grandeurs ; la mémorisation est contrôlée par l'utilisateur.*

*Ceci permettra en particulier de présenter l'importance du réglage du zéro et du calibrage.*

*Lecture en mode direct des mémoires associées à l'interface.*

*Visualisation numérique sur l'écran de l'ordinateur de la tension appliquée à une des voies de l'interface.*

- **Tableur**

Introduction du concept de tableur : possibilité d'entrer à la main (ou automatiquement) un tableur de données, possibilité de calcul des valeurs de nouvelles grandeurs définies à partir des grandeurs mesurées (par utilisation des opérations simples), définition de grandeurs différentielles (taux d'accroissement).

*De telles possibilités devront en particulier donner aux élèves une plus grande autonomie dans l'analyse de données.*

- **Grapheur** (ou calculette graphique)

Initiation aux différentes représentations graphiques :

- à partir d'un tableau de valeurs,
- à partir de l'équation mathématique d'une fonction.

- **Traitement de données** : outils statistiques

Calcul d'une valeur moyenne et tracé d'un histogramme.

*Ces notions permettront de préciser le concept de mesure (un résultat de mesurage est constitué de deux éléments indissociables : une valeur numérique et une incertitude).*

- **Traitement de texte scientifique**

Initiation des élèves à un traitement de textes scientifiques qui couplé à un grapheur et un tableur permettra la rédaction de rapport d'expériences et de travaux pratiques.

Cette initiation sera poursuivie en première et en terminale.

## NIVEAU 2 : CLASSE DE PREMIÈRE

- **Acquisition de données**

Introduction d'une méthode d'acquisition automatique de données dans le cas d'une grandeur qui évolue au cours du temps. Ceci permettra d'introduire la mesure du temps par un ordinateur (utilisation de l'horloge interne) et la notion de pas.

Le choix de la durée d'acquisition et du pas d'acquisition sera traité au même titre que les autres points entrant dans l'adaptation du protocole expérimental à l'étude envisagée.

Rédaction d'un programme de lecture des mémoires associées à l'interface.

- **Tableur-grapheur**

Extension des utilisations dans la nature des fonctions mathématiques entrant dans la définition des grandeurs.

Le lien entre dérivation, dérivation numérique et calcul d'accroissement sera explicité.

L'utilisation d'un tableur-grapheur pourra permettre l'exploration de modèles mathématiques non-élémentaires : étude de l'effet d'un paramètre sur le comportement d'ensemble.

- **Traitements de données**

- Utilisation du critère quadratique moyen : existence d'un minimum et utilisation dans l'estimation automatique de paramètres (méthode itérative élémentaire).

Les conditions d'utilisation de cette méthode dans la recherche de la meilleure estimation seront précisées.

La régression linéaire utilisée comme cas particulier.

La technique d'ajustement sera utilisée sur un exemple de modèle non linéaire. Le cas de l'ajustement linéaire sera utilisé pour introduire la notion de précision de l'estimation.

- Statistiques : utilisation de la loi normale et de l'écart-type ; la notion d'intervalle de confiance pour une mesure sera introduite.

*Ces informations devront permettre de porter un jugement critique dans le choix du nombre de chiffres significatifs affichés par un logiciel ou une calculette.*

*Note : s'il convient d'attirer l'attention des élèves sur la nécessité d'une évaluation critique de tout résultat fourni par un programme ou un logiciel, celle-ci se bornera aux questions concernant le domaine de validité du modèle utilisé ou la précision des mesures effectuées ; les questions portant sur la performance des algorithmes mis en œuvre et la précision des calculs effectués par l'ordinateur ne sera pas traitée : l'hypothèse doit toujours être faite (au niveau des classes de lycée) que les outils mis à disposition des élèves sont adaptés aux études (expérimentales ou théoriques) envisagées.*

### NIVEAU 3 : CLASSE DE TERMINALE

- **Acquisition de données**

Principe de la conversion analogique/numérique de la conversion numérique/analogique.

*Ce dernier point sera traité à l'occasion de la présentation du pilotage automatisé d'une manivelle.*

- **Tableur-grapheur**

- Extension des utilisations des fonctions mathématiques et introduction du calcul d'intégration numérique (calcul d'une intégrale définie par la méthode des trapèzes).

*Ces fonctionnalités seront utiles aux calculs du type travail d'une force non constante, ou charge d'un condensateur à tension constante.*

- Résolution numérique d'une équation différentielle du premier et du second ordre.

*La méthode d'Euler sera utilisée pour présenter (ou rappeler) le principe de résolution par itération ; l'importance du choix du pas du calcul sera évoquée et l'existence de méthodes plus fiables sera citée à propos des logiciels utilisés (cf. note faite au niveau 2).*

*La donnée des conditions initiales sera bien présentée comme une condition à la fois*

*nécessaire et suffisante. Cette méthode pourra être utilisée pour étudier le comportement d'un système théorique non-élémentaire (simulation numérique) ; l'occasion sera saisie pour bien distinguer les notions de paramètres du système et de variables (comme les conditions initiales, en particulier).*

*En ce qui concerne l'utilisation de cette méthode en liaison avec l'analyse de données expérimentales, la différence avec le tracé de courbes mathématiques sera explicitée : ici les équations sont généralement déduites de l'application de relations fondamentales de la physique ; il s'agit donc de l'étude théorique (modélisation) d'un système ou d'un phénomène, qui vise à l'interprétation des données.*

– Statistiques : propagation des incertitudes ; précision des estimations paramétriques dans la régression linéaire ; introduction des méthodes de khi carré.

#### • Résolveur

Utilisation d'un résolveur pour résoudre des systèmes d'équations.

*Il sera possible ainsi de traiter des sujets comme la détermination d'un point de fonctionnement, ou la détermination de la composition finale d'un mélange de trois réactifs.*

## **Exemples d'utilisations de l'informatique en physique et chimie**

---

Les recherches menées les dix dernières années ont permis la réalisation d'interfaces et logiciels de qualité, largement diffusés.

Sans prétendre fournir une liste exhaustive des parties de la physique et de la chimie où l'informatique permet une amélioration de l'enseignement aux niveaux scientifique et didactique ou des approches différentes, il est possible de présenter un nombre limité de situations expérimentales ou pédagogiques dont l'aspect intéressant est confirmé par les pratiques dans les classes.

Cette liste est volontairement limitée à trois grands domaines des sciences physiques : la mécanique, l'électricité et la chimie.

### **MÉCANIQUE**

L'informatique permet l'étude cinématique, dynamique et énergétique, plus aisée, des corps en mouvement.

Pour les parties cinématique et dynamique :

– calculs de vitesses : le repérage des positions successives au cours du temps d'un point d'un objet en mouvement ayant été effectué (manuellement ou à l'aide d'un logiciel adapté), l'utilisation d'un tableur permettra d'introduire la définition de la vitesse moyenne par calcul de différences finies. L'étude de la vitesse moyenne comme estimation de la vitesse instantanée pourra ainsi être traitée.

– représentations des mouvements : la possibilité de choisir des représentations graphiques pourra être utilisée pour montrer les différents «modes de suivi» d'un mouvement : trajectoire, loi horaire sur les coordonnées, lois horaire sur les vitesses, hodographe, etc...

Pour la partie énergétique :

- étude des divers aspects énergétiques :
  - énergie cinétique,
  - énergie potentielle,
  - énergie mécanique totale.

Dans les différentes expériences on pourra comparer les résultats obtenus avec le théorème de l'énergie cinétique avec ceux obtenus en appliquant les relations cinématiques.

### **Les expériences fondamentales**

- chute libre verticale,
- mouvement le long d'un plan incliné,
- oscillations mécaniques,
- mouvement d'un pendule pesant.

La plupart des logiciels disponibles permettent des représentations graphiques. La reconnaissance d'un *modèle* mathématique constitue une des exploitations les plus intéressantes.

Cela peut se faire de deux façons différentes :

- proposition d'une *fonction*. La confrontation de sa représentation *graphique* avec les points expérimentaux permet d'en vérifier l'adéquation.
- proposition d'une *équation différentielle* dont la solution est déterminée par voie numérique. La vérification est faite comme dans le cas précédent. Il est alors possible de mettre en évidence l'influence de *frottements* (introduction d'un terme supplémentaire dans l'équation).

#### **1) Chute libre verticale**

L'acquisition des données permet d'obtenir des représentations graphiques :

$$x = f(t)$$

$$v = g(t)$$

Si le graphique semble être linéaire une linéarisation automatique permet de la vérifier (l'équation de la droite est fournie).

Modélisation pour vérifier que  $x = f(t)$  est une fonction du second degré.

#### **2) Mouvement le long du plan incliné**

Même démarche que pour la chute libre.

#### **3) Oscillations mécaniques**

##### **a) Étude cinématique**

L'acquisition initiale permet d'étudier  $x = f(t)$ . Les autres grandeurs caractéris-

tiques, vitesse et accélération, sont obtenues par calculs numériques.

La *modélisation* par *fonction* est un outil très efficace pour mieux percevoir l'influence de la *pulsation* et d'une éventuelle différence de phase à l'origine.

L'approche de la fonction sinusoïdale est favorisée par la possibilité de la comparaison de l'élongation avec la vitesse et l'accélération. En particulier il est bon de noter que l'on peut *découvrir*, ou *vérifier*, la relation existant entre *l'élongation* et *l'accélération* grâce aux représentations *graphiques*.

#### b) *Étude dynamique*

Les *forces* sont prises en compte dans *l'équation différentielle* dont le système déterminera une *solution*, toujours par voies numériques.

Sa représentation graphique est alors confrontée avec les points expérimentaux. Cela en fait une véritable *simulation*.

L'élève n'est pas encore capable de connaître la solution analytique, néanmoins il est maintenant possible d'étudier des phénomènes régis par de telles équations.

En particulier on peut étudier l'influence des frottements. Il suffit d'ajouter un terme en  $-kv$  ou en  $-kv^2$  à l'équation.

En effet, quelles que soient les qualités du montage expérimental, il existe toujours des frottements.

#### 4) *Mouvement d'un pendule pesant*

Étude similaire à celle des oscillations mécaniques et permettant de dégager la notion d'oscillateur *non harmonique*.

Par exemple dans l'étude du pendule pesant amorti le système «balancier» constitue un oscillateur mécanique particulièrement simple pour lequel on peut se poser la question de l'harmonicité (concept préalablement introduit). L'application de la conservation de l'énergie mécanique conduit à une équation différentielle non soluble analytiquement qui indique sa non-harmonicité. La confrontation au comportement expérimental peut être envisagée : une acquisition de données permet d'obtenir le mouvement avec une grande amplitude sur quelques périodes ; la comparaison est faite avec le comportement théorique obtenu par résolution numérique de l'équation différentielle. On constate d'abord ainsi la concordance des périodes. L'ajout d'un terme pouvant rendre compte d'un frottement permet ensuite d'interpréter l'ensemble du mouvement mesuré (c'est-à-dire y compris la diminution de l'amplitude).

## ÉLECTRICITÉ

### Les expériences fondamentales

#### *Étude de dipôles*

– suivi de la tension aux bornes d'un dipôle et suivi de l'intensité qui le traverse : l'ordinateur muni d'une interface est considéré comme un voltmètre à double entrée. Les effets d'une modification de la tension d'alimentation du circuit peuvent être suivis en direct (acquisition et affichage des valeurs) ; la mémorisation est faite sur ordre de l'élève ; celui-ci peut donc constituer lui-même le tableau des valeurs qui lui semble nécessaire.

– étude de caractéristiques : la possibilité de tracer des courbes représentatives de

fonctions mathématiques pourra être introduite sur un exemple simple de dipôle à caractéristique linéaire, mais devra être utilisé à propos d'un dipôle non linéaire (comme la lampe à incandescence) ; on montrera ainsi la possibilité d'obtention d'un «modèle mathématique» permettant le calcul de l'état du dipôle, donc la prévision quantitative de son comportement (interpolation, extrapolation).

Les modèles pourront être réutilisés pour les associations de dipôles et la détermination de point de fonctionnement.

### **Étude d'un circuit RLC**

– décharge d'un condensateur : la connaissance des lois  $u = Ri$ ,  $i = dq/dt$ ,  $e = -L di/dt$  permet d'étudier le circuit théorique RLC-série ; l'équation différentielle est obtenue par la loi des mailles ; l'exploration de la solution numérique permet de mettre en évidence un changement de régime pour une certaine valeur de la résistance. La confrontation à l'expérience pourra alors se faire avec un oscillographe à mémoire ou un logiciel d'acquisition adapté.

– régime transitoire : la même démarche pourra être faite à propos de l'instauration d'un régime sinusoïdal dans un circuit RLC.

## **CHIMIE**

L'informatique apporte une aide à l'enseignement de la chimie dans deux domaines :

- 1) l'acquisition, représentations et traitements des données associées à une réaction chimique,
- 2) exploitation de banques de données physico-chimiques.

### **Les expériences fondamentales**

- pH-métrie :
  - dosage d'un acide fort par une base forte,
  - dosage d'un acide faible par une base forte  
*détermination du point d'équivalence par la méthode de Gran.*
- enthalpie de dissolution d'un sel dans l'eau  
méthode des mélanges
- enthalpie de réaction acide-base  
méthode des mélanges  
dosages calorimétriques
- enthalpie de la réaction du zinc sur le sulfate de cuivre II  
méthode des mélanges
- études de cinétiques chimiques  
hydrolyse du chlorure de tertio-butyle  
saponification de l'acétate d'éthyle
- potentiométrie  
dosage de  $Fe^{2+}$  par  $MnO_4^-$ .

## **DÉSINTÉGRATION NUCLÉAIRE**

On peut étudier les lois de la désintégration nucléaire à l'aide des capteurs appropriés. Les logiciels effectuent les représentations et les traitements statistiques.