

Introduction d'outils informatiques et audiovisuels dans l'enseignement des sciences physiques au lycée *Proposition de l'Union des physiciens*

Ce texte reprend le texte publié dans le B.U.P. n° 745. Il tient compte de l'évolution du contexte (évolution des programmes et des structures) et des quelques critiques faites à la première version. Il a été examiné lors de la réunion des correspondants informatiques du 25 janvier 1995. La version définitive de ce texte tient compte des remarques et critiques des correspondants et de divers consultants. Nous avons en outre détaillé quelques arguments visant à expliciter et expliquer nos choix.

1. INTRODUCTION

1.1. Un contexte général

Un enjeu pour l'éducation

L'informatique constitue un des éléments des nouvelles technologies actuelles et l'un des principaux en regard de la généralisation de ses usages dans de nombreux domaines, en particulier dans les centres scientifiques et industriels. Le système éducatif ne peut ignorer ce phénomène. Cette prise en compte est d'ailleurs un fait : équipements des établissements, introduction de l'informatique dans certains concours et introduction des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) dans la formation des maîtres.

Un enjeu pour l'enseignement scientifique

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.

Il y a donc une évolution notable des pratiques scientifiques qui peuvent servir de référence. Le choix de les prendre effectivement en référence (et d'opérer les évolutions correspondantes sur le plan méthodologique dans l'enseignement des sciences physiques) est un acte qui relève tout aussi bien de la didactique que d'un point de vue social.

Un constat de fait dans l'enseignement des sciences physiques au lycée

La spécificité actuelle de l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques¹ réside dans sa nature *d'outil du physicien et du chimiste devenu accessible aux laboratoires des lycées*. Ceci a entraîné un consensus général sur «l'outil de laboratoire» depuis dix ans : ce consensus où «l'ordinateur est placé à côté de l'oscilloscope» apparaît également comme une marque du souci de promotion du caractère expérimental de l'enseignement de la physique.

1.2. Le point de vue de l'Union des Physiciens

La volonté de promouvoir les utilisations scientifiques

Le point de vue adopté par l'Union des Physiciens est de contribuer à promouvoir les utilisations de l'ordinateur au laboratoire *«en tant qu'outil d'investigation scientifique»*. Ses utilisations comme «auxiliaire pédagogique», qu'il ne faut pas ignorer par ailleurs, ne relèvent pas du même enjeu. En d'autres termes, les fonctionnalités de stockage, de mesure, de calcul et de représentation de l'ordinateur doivent être exploitées fondamentalement pour le *traitement scientifique* des «problèmes» (et non pas pour une «prise en charge» pédagogique).

L'investigation scientifique ne se limite pas à l'acquisition automatique de données : les utilisations pour l'exploration de *modèles théoriques* (par simulation) relèvent d'une même activité scientifique.

L'objectif final est que l'ordinateur doit être à terme (comme tout oscilloscope) *à l'usage des élèves*.

Les implications

Ceci a plusieurs implications :

- Pour ce qui concerne les objets :
 - 1 - la présence d'une ou plusieurs fonctionnalités relevant de la mesure ne suffit pas à qualifier un logiciel «d'outil d'investigation scientifique» ;
 - 2 - la différenciation calculatrice (graphique-programmable-interfaçable) / ordinateur (de poche) s'efface devant le concept «d'outil informatisé».

1. Et dans quelques autres disciplines comme la biologie ou les sciences économiques.

- Pour ce qui concerne les utilisations :

3 - la mise à disposition de ces outils pour l'enseignant doit contribuer à *modifier*, d'une part, une partie *des contenus et des méthodes enseignées*, et d'autre part, *un certain nombre d'approches* «classiques» (abandon de procédures expérimentales et de calculs longs, répétitifs et... fastidieux) en prenant en compte les capacités de calcul et de modélisation apportées par l'informatique ;

4 - une réelle *intégration* de l'outil dans l'enseignement des sciences physiques implique que soient analysées les *compétences* requises chez les élèves, et qu'un certain nombre d'entre elles figurent en tant que «compétences exigibles».

Les actions de l'Union des Physiciens

Sur les trois points précédents, l'Union des Physiciens, et en particulier sa Commission Informatique, a engagé des travaux et des actions complémentaires :

1 - la réflexion sur la nature, la définition et l'organisation des différentes fonctionnalités a fait l'objet d'un premier travail de la Commission («Propositions d'harmonisation des logiciels d'acquisition, de traitement de mesures et de simulation») dont la remise à jour est envisagée ; des critères correspondants sont proposés pour la définition du cahier des charges des logiciels de ce type en licence mixte ;

2 - les utilisations ne peuvent être significatives en nombre que si les programmes des classes évoluent : c'est dans ce sens que les précédentes propositions avaient été faites et qu'une partie du texte ci-dessous (partie 2.3.) veut illustrer ;

3 - la modification des approches est plus directement du ressort des enseignants (et donc des formateurs) : c'est pourquoi nous avons ajouté en annexe (Annexe 2) quelques propositions concrètes d'introduction aux différents niveaux ; c'est aussi dans ce but que l'Union des Physiciens organise des stages de formation académique ou des universités d'été ;

4 - l'analyse des compétences requises a conduit à quelques propositions qui seront reprises dans le texte ci-dessous (partie 2.2.) ;

5 - une réflexion concernant la formation des maîtres a été menée en parallèle et fait l'objet d'un texte spécifique.

2. DES OUTILS INFORMATISÉS D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE AU LYCÉE

2.1. Les utilisations scientifiques

Les objectifs

L'apport des utilisations d'outils informatisés nous paraît se situer sur trois plans :

- l'évolution des *méthodes expérimentales (quantitatives)* d'étude de phénomènes pour lesquels les moyens traditionnels étaient insuffisants (phénomènes trop rapides, trop lents ou trop complexes) ;
- la possibilité de construire, d'élaborer, de tester et de manipuler des *modèles physico-mathématiques (même non «élémentaires»)* ;
- l'accès à la manipulation et à la *représentation de données* (issues de mesures ou de calculs théoriques).

En termes d'objectifs généraux de l'enseignement des sciences physiques, cette introduction doit contribuer à enrichir la compréhension des phénomènes physiques et des modèles par :

- l'examen expérimental de leurs comportements en fonction de divers paramètres ;
- la mise en œuvre de simulations sur modèle (notamment lorsque ceux-ci n'ont pas de solution analytique accessible) ;
- l'étude des domaines de validité par la prise en compte des incertitudes expérimentales ou l'exploration de cas limites.

De telles exploitations ne relèvent pas de l'utopie. Elles peuvent être introduites de façon pertinente dans l'enseignement de la physique-chimie au lycée : il existe en effet, dans le champ d'application des concepts et lois enseignés à ce niveau, des systèmes et des phénomènes dont l'étude peut gagner en qualité scientifique et didactique, par exemple :

- *études expérimentales* : suivis de mouvements plans quelconques et variés, d'oscillations mécaniques ou de réactions chimiques (rapides), enregistrements de transitoires (très rapides) en électricité ou de changements (lents) en calorimétrie, scrutation de phénomènes aléatoires (radioactivité), etc. ; les techniques d'acquisition programmables sont alors les outils privilégiés ;
- *analyses quantitatives et modélisation* : tracé d'un histogramme de comptage (radioactivité), détermination statistique d'incertitudes de mesures², modélisation du pendule pesant, étude théorique des oscilla-

tions libres amorties d'un circuit RLC, interprétation d'une cinétique chimique, etc.

Les outils

On trouvera en Annexe 1 la liste des outils informatisés extraite de la brochure de propositions d'harmonisation des logiciels déjà citée. Dans de récentes publications (au B.U.P. en particulier), de nouveaux moyens ont été également proposés (numérisation d'images, recours à des banques de données, par exemple). Malgré l'intérêt qu'ils présentent pour certaines situations, nous n'avons conservé dans les propositions d'introduction progressive en classe scientifique de lycée (partie 2.3.) que les outils (ou fonctionnalités) «classiques» cohérents avec une proposition «de base».

Citons ici ceux qui sont directement impliqués par les objectifs d'utilisation indiqués précédemment :

- la *fonctionnalité* «tableur-grapheur» : pour la saisie manuelle de données, le calcul de grandeurs «secondaires» et l'analyse descriptive de données ;
- la *traceur de fonctions mathématiques* : pour l'étude de modèles théoriques «analytiques» (tracé de réseaux de courbes par exemple) et pour la confrontation (ou l'ajustement manuel) d'un modèle empirique à des mesures (superposition graphique) ;
- la *résolution numérique d'équations différentielles* (équation du premier ou deuxième ordre, ou système d'équations différentielles) : pour l'étude de modèles théoriques uniquement décrits par de telles équations (cas d'un mouvement avec frottement fluide, par exemple) ;
- la *calcul de l'écart quadratique moyen* (avec comme cas particulier, mais non unique : la régression linéaire) : pour l'optimisation de modèles (dans certaines conditions) ;
- la *calcul de moyennes, d'écarts-types et d'intervalles de confiance* : pour l'analyse statistique des incertitudes expérimentales en particulier.

Remarque à propos de l'apparente complexité des outils

Parce que certaines méthodes ou techniques peuvent sembler complexes à première lecture, nous voulons ici faire d'emblée quelques commentaires.

2. Référence est faite implicitement ici aux instructions de 1987.

En premier lieu, il s'agit de méthodes ou techniques qui, proposées dès 1984³, ont été utilisées par de nombreux collègues innovateurs et ont fait l'objet, pour la plupart d'entre-elles⁴, d'études didactiques plus poussées. La complexité semble en fait moins imposante pour les élèves et, lorsque des difficultés ont été constatées, elles ont été prises en compte dans nos propositions.

En second lieu, nous voulons attirer l'attention sur le fait que la question de la complexité d'un sujet (et celle des difficultés correspondantes des élèves) se pose aussi (déjà) pour un certain nombre de sujets «classiques», dont la simplicité semble essentiellement fondée sur l'habitude : l'induction, la quantité de mouvement, l'énergie potentielle, les niveaux d'énergie de l'atome...

Enfin, il nous semble que la pertinence *et l'avenir* de l'introduction des méthodes informatisées tient à la cohérence d'ensemble. La pertinence de tel type d'acquisition, telle méthode de traitement, de tel outil de résolution, n'a pleinement de sens qu'en relation (de complémentarité) avec les autres. En d'autres termes, ne relever dans nos propositions que quelques utilisations ça et là, ou l'amputer d'une partie jugée trop difficile (cas de la résolution numérique des équations différentielles) serait détruire la cohérence.

2.2. L'implication sur les contenus enseignés

Remarque sur l'extension du «champ de la discipline»

Nous avons indiqué dans l'introduction qu'une partie des contenus enseignés pouvait (devait) être modifiée. Il convient d'être clair sur ce sujet : il ne s'agit pas nécessairement d'ajouts de connaissances nouvelles, ni d'introductions systématiques de cas jugés «classiquement» comme complexes. Il s'agit d'abord d'une extension du champ d'application des connaissances, tant sur le plan expérimental que sur le plan théorique, et ensuite, d'une (ré-)introduction d'études pour lesquelles il y a des informations ou des hypothèses didactiques positives en terme d'apprentissage.

Ainsi, l'étude du pendule pesant peut-elle être réintroduite en tant qu'oscillateur non-harmonique : elle est à reconsidérer parce que les

3. Voir les actes des premières journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques.

4. En particulier celles qui pouvaient a priori conduire à des difficultés.

moyens d'étude expérimentale du mouvement permettent de suivre le mouvement «à l'intérieur» d'une période et parce que les moyens de calcul permettent d'étudier aussi bien l'évolution de l'énergie à partir des mesures expérimentales que le comportement théorique gouverné par une équation différentielle non intégrable ; et nous pensons que cette étude doit être réintroduite, car l'une des manières claires de faire comprendre la nature, l'intérêt et la particularité d'un oscillateur harmonique, reste bien d'en montrer un qui ne l'est pas⁵...

C'est pour une raison semblable que l'étude quantitative et modélisante des frottements est proposée : sinon, tout se passe comme si les connaissances de physique enseignées en terminale scientifique ne permettaient d'expliquer que les mouvements sans frottements...

De même, l'idée d'étudier un régime transitoire en électricité n'a-t-elle pas pour but d'ajouter de la complexité ! Au contraire, la saisie au vol de l'évolution d'une tension dès la fermeture d'un interrupteur classique, nous semble plus «naturelle» et intelligible que l'alimentation d'un circuit par un générateur de signaux carrés (suivi parfois d'un montage suiveur...) ; sans parler des possibilités de confrontation avec les formules théoriques qui sinon restent des signes écrits au tableau ou dans les livres. De plus, l'idée de s'intéresser plus explicitement aux régimes transitoires en électricité, est liée au souci de mieux faire comprendre le passage (non magique) à un régime forcé lorsqu'on branche un générateur de tension alternative.

De nouvelles compétences exigibles

L'ensemble de ces utilisations impliquent l'acquisition de nouveaux savoirs et savoir-faire *spécifiques aux sciences physiques*⁶, 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.

5. Le nouveau programme de physique de la classe de terminale scientifique propose une nouvelle approche, qui va dans ce sens, de l'étude des oscillateurs. (B.O. n° 3 du 16 février 1995, page 3).
6. Ainsi formulé, nous exprimons clairement le fait que nos objectifs ne visent pas un apprentissage de l'Informatique.

Dans la grille d'évaluation, une nouvelle capacité de type B nous semble devoir alors être explicitée et mise en parallèle avec l'utilisation des mathématiques : *l'utilisation d'outils informatisés*. Le découpage deviendrait 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.

Notons ici que notre objectif n'est pas de compliquer une grille parfois discutable et difficile à mettre en œuvre, mais d'attirer l'attention sur le sens d'une réelle intégration d'outils informatisés dans l'enseignement des sciences physiques. En d'autres termes, il convient sans doute de suivre plus l'esprit que la lettre.

Remarque sur «informatique versus mathématiques»

La crainte d'une augmentation de la part de «mathématiques» comprise dans les programmes de sciences physiques est souvent évoquée. Si tel était le cas, notre proposition serait désastreuse sans nul doute. Mais notre propos est à l'inverse : l'utilisation de méthodes numériques si elles nécessitent d'introduire des connaissances supplémentaires sur les modes de calcul, est précisément proposée pour faire moins de calculs et moins de Mathématiques.

En termes de Mathématiques (avec un grand «M»), il n'est plus besoin d'attendre l'introduction formalisée des sinus, logarithmes, etc. par le «mathématicien», ni même la définition de la dérivée et l'introduction des concepts d'intégrales et de primitives, pour effectuer certaines analyses. Si l'on considère le «point sensible» que constituent les équations différentielles, demandons-nous quelle simplicité les élèves trouvent-ils lorsqu'on les utilise en physique et quelle aisance ils ont à les comprendre dans le cours de mathématiques ? Inversement, quelle complexité mathématique craindrait-on *a priori* qu'ils trouvent dans une suite de multiplications et d'additions ?

En termes de calculs, on voit mal quelle crainte il peut y avoir *a priori* à étendre à une colonne d'une centaine de valeurs l'application d'une opération qui, sinon, est faite à la main (et à la calculette) sur un tableau de huit ou dix valeurs ? De même, pourquoi l'obtention rapide

de graphiques différents serait-elle quelque chose de plus difficile qu'un tracé fastidieux fait à la main sur du papier semi-logarithmique ?⁷

2.3. Répartition de l'acquisition des concepts et des savoir-faire sur les trois années du lycée

La répartition que nous proposons n'a rien de contraignant. Elle dépend de nombreux facteurs comme par exemple le niveau des élèves, leur «passé informatique», l'existence de l'option I.E.S.P. en seconde, l'existence de disciplines technologiques, l'utilisation de l'informatique dans d'autres disciplines etc.

Niveau 1 : classe de seconde

• Acquisition de données

- 1 - aspect fonctionnel d'une chaîne d'acquisition et de restitution de données ;
- 2 - principe simple d'un convertisseur analogique numérique ;
- 3 - notion de circulation de l'information ;
- 4 - utilisation d'un capteur pour suivre l'évolution d'une grandeur.

• Tableur ou calculateur scientifique

1 - introduction à quelques fonctionnalités d'un tableur : possibilité d'entrer à la main (ou automatiquement) un tableau 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). Principe du recalcul automatique.

Commentaire : l'introduction de ces fonctionnalités très élémentaires vise seulement à familiariser aux élèves à l'utilisation des tableurs (qu'ils peuvent avoir utilisé par ailleurs dans d'autres disciplines).

• Grapheur ou calculette graphique

1 - l'utilisation de tels outils permettra un apprentissage de la lecture de représentations graphiques de forme, de nature et d'origine diverses. La différence entre la représentation d'un tableau de valeurs et celle

7. Il ne faut naturellement pas en déduire que l'objectif serait de tout remplacer par des approches informatisées... mais bien de montrer qu'il existe des moments dans les activités d'apprentissage où les calculs se font «à la main» et d'autres où l'on peut utiliser des outils informatiques.

d'une fonction définie par son équation mathématique sera en particulier soulignée ;

2 - l'ajustement manuel d'une droite sur un ensemble de points présentant une tendance à l'alignement sera introduit.

Commentaire : l'apprentissage de la lecture des représentations graphiques ne peut pas se limiter à la construction manuelle de quelques tracés fastidieux faits dans l'année, ni à la lecture de représentations graphiques standard ; l'ordinateur (ou la calculette graphique) doit pouvoir ici facilement contribuer à l'acquisition d'une réelle compétence, la conduite de l'apprentissage restant naturellement de la responsabilité de l'enseignant.

Niveau 2 : classe de première scientifique

• Acquisition de données

- suivi de l'évolution d'une grandeur dans le temps ;
- notion d'échantillonnage.

Commentaire : ceci permettra d'introduire l'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.

• Traitements de données, modélisation

1 - introduction et 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.

Commentaire : la technique d'ajustement sera utilisée sur un exemple de modèle non linéaire. La régression linéaire sera présentée comme cas particulier et sera utilisée pour introduire la notion de précision de l'estimation d'un paramètre en liaison avec la qualité des mesures (on montrera la nécessité de conditions sur les données expérimentales pour que la méthode soit strictement applicable).

• Outils statistiques

- 1 - introduction et utilisation de la loi normale et de l'écart-type ;
- 2 - introduction de la notion d'intervalle de confiance pour une mesure.

Commentaire : 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 la machine ne sera pas traitée.

- Traitement de texte scientifique

1 - contribution à l'initiation des élèves à un traitement de textes : modules «scientifiques» (éditeur de formules, de dessins, de schémas) ; importation de tableaux ou de graphiques provenant d'un «tableur-grapheur».

Commentaire : il s'agit d'offrir aux élèves l'occasion de compléter des connaissances acquises par ailleurs sur un traitement de texte standard. Des travaux de rédaction de rapports d'expériences ou de travaux pratiques serviront de support.

Niveau 3 : classe de terminale scientifique

- Acquisition de données

– approfondissement des conversions ;
– principe de la conversion numérique/analogique : ce point sera traité à l'occasion de la présentation du pilotage automatisé d'une manipulation.

- Tableur-grapheur, modélisation

1 - extension des utilisations de fonctions mathématiques et introduction du calcul d'intégration numérique (calcul d'une intégrale définie par la méthode des trapèzes) ;

2 - principe et utilisation de la résolution numérique d'une équation différentielle du premier et du second ordre (utilisation de méthodes récurrentes) ;

3 - introduction des outils d'optimisation automatisés ; explication d'un principe simple de recherche automatique fondé sur la minimisation du critère quadratique moyen.

Commentaires :

– ces fonctionnalités seront utiles aux calculs du type travail d'une force non constante, ou charge d'un condensateur à tension constante ;

- la méthode d'Euler sera utilisée pour présenter le principe de résolution par itération ; l'importance du choix du pas du calcul sera seulement évoquée et l'existence de méthodes plus fiables sera seulement citée à propos des logiciels utilisés (cf. commentaire précédent). 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 faire distinguer les notions de paramètres du système et de variables (comme les conditions initiales, en particulier) ;
- la méthode d'optimisation pourra être présentée sur un exemple de modèle avec deux paramètres.

- Outils statistiques

- 1 - lien entre la méthode des moindres carrés et l'incertitude d'une mesure ; propagation des incertitudes et précision des estimations paramétriques dans la régression linéaire ;
- 2 - utilisation des méthodes de «chi carré» (χ^2).

- Complément : résolveur

- utilisation d'un résolveur pour résoudre des systèmes d'équations.

Commentaire : 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.

- Traitement de texte scientifique

Suite des utilisations introduites en première.

Annexe 1

Liste des outils ou fonctionnalités informatiques donnée dans la brochure «harmonisation des logiciels», U.d.P., 1991

GESTION DES FICHIERS

Répertoire
Charger
Enregistrer
Supprimer
Chemin d'accès
Configuration
Accès au DOS
Quitter

et, en complément :

Fusionner
Réinitialiser
Catalogue
Ascii

PRÉPARATION DE L'ACQUISITION

- Spécification de la chaîne de mesures :

Interface
Capteurs
Mode d'acquisition
 Automatique (Échantillonnage, Point par point, Synchronisée)
 Saisie Clavier

- Étalonnage et spécification du système étudié :

Test
Étalonnage
Données

ACQUISITION

Lancement
Suite
Paramètres
Pas

- Durée
- Nombre de points
- Voies
- Synchronisation (Voie, Niveau, Sens)
- Superposition/effacement
- Mémorisation
- Liste
- Suppression
- RaZ

SIMULATION

- Modèle
- Paramètres
- Conditions initiales
- Lancement
- Suite
- Pas
- Durée
- Superposition/effacement

REPRÉSENTATION

- Tableau
- Échelles
 - Automatiques
 - Manuelles

et, en complément :

- Axes
- Quadrant(s)
- Format
- Espaces
- Grandeurs
 - Définition (définition mathématique, symbole, unité)
 - Suppression
 - Fichiers
- Restaure
- Constante
- Transformation (changements de variables)
- Courbes

ANALYSE• Premier ensemble : gestion élémentaire des données

Suppression
Intervalle
Tri

et, en complément :

Tableau
Masquage

• Second ensemble : traitement

Lissage
Dérivée
Primitive
Intégrale

et, en complément :

Fourier

• Troisième ensemble : modélisation

Fonction
Régression
Simulation
Modèle
Conditions initiales
Pas
Durée
Effacement
Superposition/effacement

et, en complément :

Écart
Remplacement

Annexe 2

Exemples d'utilisations d'outils informatiques en physique et chimie

Sans prétendre fournir une liste exhaustive des parties de la physique et de la chimie où les moyens informatisés permettent une évolution de l'enseignement sur les plans scientifique et didactique, il est possible de présenter quelques situations pour lesquelles l'utilisation de moyens informatisés constitue un apport particulièrement pertinent. Ce «possible» n'est pas le fruit de l'imagination : les logiciels qui disposent des fonctionnalités décrites dans la partie II sont de plus en plus nombreux, et les applications dans les classes ont été faites (soit dans le cadre de l'enseignement normal, soit dans le cadre d'expérimentations pédagogiques).

MÉCANIQUE

Apports essentiels

Dans ce domaine, l'utilisation de moyens informatisés constitue à la fois une aide dans la réalisation de tâches (souvent fastidieuses) et le moyen d'une ouverture du champ d'application des connaissances théoriques.

- *Pour ce qui concerne la mesure*

Ce point constitue classiquement une source de problèmes techniques : impossibilités (cas du mouvement d'oscillateurs, de celui d'un objet quelconque, etc.) ou limitations (répétition de mesures au chronomètre, relevés à la règle, etc.). Certaines remédiations soulèvent par ailleurs des problèmes didactiques (exploitation du banc à coussin d'air ou les mobiles autoporteurs). La possibilité de suivre des mouvements en réalisant une mesure tous les $1/100^{\text{e}}$ de seconde ou d'effectuer des relevés de coordonnées «assistés par ordinateur» (y compris sur des images vidéo) permet évidemment le renouvellement de nombreuses approches.

- Pour ce qui concerne l'analyse «descriptive»

Là également un grand nombre d'études étaient, pour cause de temps et de manque d'intérêt, soit quantitatives mais limitées à une dizaine de mesures, soit purement qualitatives (pour ne pas dire indicative).

La possibilité d'exploiter des ensembles de mesures de plusieurs dizaines de couples ou triplets, permet d'étudier des effets de façon plus significative et convaincante, et d'accéder à du «qualitatif contrôlé», c'est-à-dire à des descriptions en terme de variation qui reposent sur des représentations graphiques tirées des mesures (étude des échanges énergétiques à partir d'un graphe (E_p , E_c), étude de la dissipation de l'énergie sur le graphe (E_m , x) par exemple).

• Pour ce qui concerne la modélisation

Les apports sont évidents en regard des activités classiques :

- les modélisations pourront être confrontées à des ensembles de données plus significatifs (car comportant un plus grand nombre de mesures) ;
- les modélisations pourront être faites aussi bien avec des fonctions polynomiales, trigonométriques et logarithmique que linéaires ; ceci devra permettre de relativiser la place de certains changements de variables *ad hoc* ;
- la confrontation pourra se faire y compris dans les cas où le modèle n'a pas de représentation analytique en terme de fonction (cas du pendule pesant, des mouvements avec frottement fluide).

Les expériences de «référence»

• Chute libre verticale et glissement sur un plan incliné

L'acquisition automatique (ou le rassemblement de mesures effectuées à la main) permet de faire des études quantitatives ou qualitatives (dans le sens indiqué ci-dessus) : obtention et éventuellement modélisation par une fonction des représentations de $x(t)$, $v(t)$, $E_p(t)$ et $E_c(t)$ superposés, $E_p(E_c)$ ou $E_c(W_p)$, $E_m(x)$ et $E_m(t)$.

Remarque : ces études peuvent être l'occasion d'introduire la dérivation numérique.

• Oscillations mécaniques⁸

a - Étude cinématique

L'acquisition permet d'étudier l'élongation en fonction du temps. Le calcul des autres grandeurs (vitesse et accélération, énergie)

8. Voir le nouveau programme de physique de la classe de terminale scientifique (B.O. n° 3 du 16 février 1995, page 3) et le document d'accompagnement de la classe de T.S.

permettent les mêmes approches que celles décrites pour la chute ; notons cependant que la représentation de la vitesse en fonction de l'élongation, ainsi que celle de l'accélération en fonction de l'élongation constituent des représentations inhabituelles mais riches de sens (espace des phases, et «visualisation» de l'équation différentielle).

La modélisation par fonction est un outil très efficace ici pour mieux percevoir la nature et l'importance des trois paramètres que sont l'amplitude, la pulsation et la phase à l'origine ; en particulier, il est possible (et didactiquement intéressant) de modéliser des acquisitions pour lesquelles la phase à l'origine n'est ni 0, ni $\pm \pi/2$...

b - Étude dynamique

La confrontation du modèle théorique déduit de l'analyse (et de la modélisation) du système avec les données de l'expérience est toujours possible. Les résultats d'une simulation numérique (résolution de l'équation différentielle déduite de la première relation de la dynamique ou de la conservation de l'énergie) peuvent être confrontés aux points expérimentaux.

On peut ainsi montrer que les connaissances de mécanique permettent d'interpréter (de façon théorique et quantitativement satisfaisante) l'amortissement ou la non-harmonicité (oscillateur linéaire amorti et pendule pesant)⁹.

• Étude de mouvements plans

Lorsque la phase de relevé de coordonnées a été effectuée (manuellement ou assistée par ordinateur¹⁰), le recours à des outils informatisés permet d'étudier facilement les représentations (et comportements correspondants) du type $x(t)$, $y(t)$, $y(x)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $E_c(t)$, $E_m(x)$, etc.¹¹, et d'effectuer des modélisations où les deux équations différentielles sont traitées simultanément.

9. La combinaison des deux phénomènes (non-harmonicité et amortissement peut naturellement être étudiée en suivant cette même approche ; toutefois, l'intérêt pédagogique semble mineur au niveau secondaire.
10. Exploitation d'une tablette à numériser pour dépouiller un document papier ou d'une technique de numérisation-incrustation pour mesurer directement sur l'image, par exemple.
11. Et permettre, en particulier, de tenter de remédier à la confusion, classique chez les élèves de terminale, entre $y(t)$ et $y(x)$ pour le mouvement dans le champ de pesanteur.

ÉLECTRICITÉ

Apports essentiels

- Pour ce qui concerne la mesure

Les apports des outils informatisés se situent dans la «position intermédiaire» des méthodes, en comparaison des méthodes manuelles et des méthodes utilisant l'oscilloscope. Il est en effet possible d'automatiser le relevé de mesures tout en gardant le contrôle par l'utilisateur, et donc de pouvoir obtenir facilement des cycles d'hystérésis ou des caractéristiques de dipôles par exemple, sans passer par l'artifice parfois dangereux¹² du tracé à l'oscilloscope.

Par ailleurs, la possibilité de superposer facilement des caractéristiques différentes est un atout évident dans l'introduction des réseaux de caractéristiques et dans la recherche d'un point de fonctionnement entre dipôles non linéaires.

Enfin, pour ce qui concerne les régimes transitoires, l'ordinateur peut remplacer l'oscilloscope à mémoire, et ouvrir la possibilité à une confrontation aux équations théoriques allant ainsi au-delà de la comparaison généralement plus que qualitative de «l'allure des courbes».

Les expériences «de référence»

- Étude de dipôles

- obtention de réseaux de courbes caractéristiques externes ;
- modélisation de caractéristiques : modélisation linéaire par morceaux, ou modélisation par des fonctions mathématiques plus complexes (suivant le niveau de l'enseignement).

- Étude de circuits RC, RL, RLC

- charge d'un condensateur à tension constante ou établissement d'un courant dans une bobine ; acquisition et modélisation par une fonction exponentielle ou par une équation différentielle ;
- décharge oscillante d'un condensateur : le modèle théorique (équation différentielle du second ordre) obtenue par la loi des mailles peut être étudié par résolution numérique (simulation sur modèle) ; la

12. Du point de vue de la physique (cas de la caractéristique d'une lampe à incandescence qui «devient linéaire») et du point de vue didactique (le montage pour le tracé de la caractéristique de la diode, par exemple, n'étant pas toujours bien compris).

confrontation à l'expérience pourra alors se faire avec un oscilloscope à mémoire ou un logiciel d'acquisition adapté ;

- régime transitoire : le même principe d'acquisition pourra être repris pour montrer le régime transitoire dans l'installation d'un régime sinusoïdal forcé dans un circuit RLC ;

- l'étude de la courbe de résonance pourra bénéficier des possibilités de modélisation : même obtenues à la main, les mesures de $I(N)$ pourront être confrontées au modèle tiré de $Z(\omega)$; l'ajustement de la valeur de R , par exemple, permettra d'étudier différentes courbes. Les mêmes données et calculs pourront être utilisés pour montrer la résonance en tension.

- Magnétisme

Les possibilités d'acquisition évoquées ci-dessus et de modélisation (avec utilisation de la dérivation ou de l'intégration numérique) sont naturellement adaptées à l'étude de l'induction.

CHIMIE

L'informatisation apporte une aide à la conduite de manipulations (couplage de capteurs et d'actionneurs) et à l'interprétation de réactions chimiques complexes (titrages, cinétiques), mais également dans l'accès à des banques de données et la résolution de problèmes quantitatifs.

Les expériences de «référence»

- utilisation d'un résolveur ou d'un tableur pour la résolution de problèmes quantitatifs de mélanges ioniques ;

- dosage d'un acide par une base : pilotage du goutte-à-goutte ; détermination du point d'équivalence par la méthode de Gran ;

- potentiométrie dosage de Fe^{2+} par Mn_3O_4 ;

- enthalpie de réaction acide-base (ou zinc sur le sulfate de cuivre II) ; méthode des mélanges-dosages calorimétriques ;

- études de cinétiques chimiques : hydrolyse du chlorure de tertio-butyle saponification de l'éthanoate d'éthyle.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Le couplage d'un dispositif de comptage et d'un logiciel de représentation graphique et de traitements statistiques, permet d'étudier expérimentalement et quantitativement les lois de la désintégration nucléaire.