Enseigner les Sciences physiques... ou faire de l'informatique ?

par G. BOECKEL,
Lycée Kléber, Strasbourg.

Le 22 mai 1985, la Section Académique de Strasbourg organisait une réunion sur le thème « Enseignement des Sciences physiques et Micro-ordinateur ». Le texte qui suit est celui d'un exposé préliminaire ; il y eût par la suite un débat et une présentation de différentes utilisations possibles. Nous avons estimé qu'avant toute phase d'intégration de l'outil informatique dans notre enseignement, il fallait s'accorder un moment de réflexion et de concertation, afin que les utilisateurs potentiels puissent prendre conscience non seulement des possibilités nouvelles qu'offre cet outil, mais aussi des conditions, des limites, des contraintes, de l'intérêt véritable que présente cette utilisation.

LE POINT SUR LA SITUATION ACTUELLE (*).

Le plan « Informatique pour tous », lancé en janvier 1985 prévoit deux phases :

— l'équipement des établissements selon des normes fixées ;

— la formation de professeurs au cours de stages d'initiation pendant les vacances scolaires.

Ces moyens importants et exceptionnels ne nous paraissent pas suffisants pour la réussite du plan. Nous y en ajouterons deux autres :

— d'abord la réflexion d'ordre pédagogique, faite au niveau des disciplines, en particulier des associations et des responsables pédagogiques partant des objectifs fondamentaux assignés aux enseignements respectifs. Cette réflexion est souhaitée dans les directives d'organisation des stages d'initiation, mais peut difficilement aboutir si les participants n'enseignent pas la même discipline, au même niveau. Il s'agit avant tout de répondre à la question : « Que peut apporter l'utilisation d'un micro-ordinateur à l'enseignement des Sciences physiques ? » et non à celle-ci : « Comment peut-on faire de l'informatique

(*) *N.D.L.R.* : La situation décrite est celle de 1985, mais le problème reste d'actualité.

pendant les heures d'enseignement de Sciences physiques autour de thèmes touchant à cette discipline ? » Il est clair que suivant les objectifs que l'on se fixe, la réponse pourra être différente ;

— ensuite, l'existence et la diffusion de logiciels adaptés aux besoins réels exprimés.

LE PROBLEME DES LOGICIELS.

La situation actuelle est alarmante tant par la quantité que par la qualité des produits existants. Il faut rappeler que les premiers ordinateurs (des « mini- ») sont arrivés dans certains lycées en 1972. Un travail important de recherche et de réalisation de logiciels a été fait par de nombreuses équipes. Malgré cette ancienneté, malgré ce travail, le nombre de logiciels diffusés est actuellement très faible (une quinzaine environ). De plus, tout en reconnaissant une qualité sur le plan technique et un caractère séduisant, on peut ne pas être enthousiaste pour l'utilisation de certains de ces logiciels, l'avantage de l'utilisation d'un micro-ordinateur n'y apparaissant pas de façon évidente : simulation d'expériences, fonctionnement en « tourne-page électronique », etc.

Prenons les logiciels, utilisés comme exemples-type dans les stages de formation et décrits à ce titre dans le « Livre de l'utilisateur » distribué pendant les formations de Pâques.

On lit, page 60 :

« ... les logiciels présentés dans ce petit catalogue répondent à certaines exigences :

1) Qualité :

a) Ils sont le fruit d'un important travail d'équipes confirmées de professeurs, formés en informatique pédagogique, mais surtout sensibilisés aux problèmes de didactique.

b) Les corps d'inspection, les Associations de spécialistes ont émis des avis favorables sur ces produits, au cours de leur élaboration et de leur production.

c) Ils ont déjà été expérimentés en situation scolaire dans des versions développées sur d'autres matériels, avec des conclusions satisfaisantes... etc. ».

On trouve ensuite, page 76, la description des deux seuls logiciels de Sciences physiques qui ont reçu leur label de qualité :

NOM	SUJET	
PANNE	Détection d'une panne dans un circuit électrique.	Révision des courants dérivés ; acquisition d'une stratégie expérimentale avec l'aide du professeur.
BASAC	Comportement des acides et des bases en solution aqueuse.	Programme de simulation. Comportement de différents acides et bases. Forces des acides et des bases. Indicateurs colorés, dilution, neutralisation.

Est-ce ce type de logiciel que nous attendons vraiment ? Devons-nous remplacer l'expérience réelle (par exemple l'action des indicateurs colorés) par une simulation sur écran ? Que penser d'une telle utilisation du micro-ordinateur ?

LES OBJECTIFS ET LES DEMARCHES DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES.

Les objectifs qui nous sont assignés dans les programmes et commentaires peuvent être résumés ainsi :

— transmission d'un certain contenu scientifique,

— acquisition d'un savoir-faire expérimental,

— imprégnation d'une méthode scientifique basée sur l'expérience et la modélisation,

— éveil à la curiosité scientifique.

Ces objectifs sont poursuivis lors des deux types de démarches pédagogiques que constituent la phase expérimentale (recherche des lois physiques) et modélisation (interprétation des lois). Nous disposons pour cela d'outils (appareillage, outil mathématique, documents, tableau noir, films,...) et le micro-ordinateur viendra s'y ajouter.

Nous l'utiliserons si ses performances et ses possibilités permettent de mieux atteindre nos objectifs. Bref, il s'agira de trouvers des situations où l'utilisation du micro-ordinateur :

— améliore (« faire mieux »)

— prolonge (« faire plus »)

— allège (« faire moins péniblement ou plus rapidement »)

notre enseignement.

Il faut aussi savoir laisser l'outil dans le placard, si l'avantage qu'on peut en tirer n'est pas évident, si l'efficacité de l'acte pédagogique n'est pas augmentée.

UN EXEMPLE SIMPLE.

Nous allons montrer sur un exemple simple comment l'étude d'un modèle peut, sans grands moyens, être enrichi par l'utilisation d'un micro-ordinateur. De telles situations sont fréquentes, car on se heurte souvent à des difficultés liées à l'outil mathématique (insuffisant ou non possédé par les élèves).

ENONCE : QUELLE EST LA PERIODE D'UN PENDULE SIMPLE DE LONGUEUR l, ET D'AMPLITUDE α_0 ?

L'application des théorèmes généraux de la mécanique conduit à l'équation différentielle en $\alpha(t)$: $\dfrac{d^2\alpha}{dt^2} = -\dfrac{g}{l} \sin\alpha$.

On sait que la résolution d'une telle équation n'est possible que si l'angle α_0 reste petit, et dans ce cas donne une solution harmonique de période $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$. Il n'est pas possible d'en faire plus, de justifier ce qu'on appelle « petit », de calculer l'erreur commise, sauf si on est au niveau post-baccalauréat où par des changements de variables savants et des calculs longs, on arrive à une solution approchée pour la période du type : $T = T_0 (1 + \alpha_0^2/16)$.

L'utilisation d'un micro-ordinateur permet effectivement ici de « prolonger » l'étude (on calcule T pour toute amplitude), d' « alléger » (pas de calculs savants) et donc d'améliorer l'étude du modèle envisagé. En résumé, on s'affranchit d'un outil mathématique trop complexe.

ANALYSE :

A partir de $t = 0$, on découpe le temps en tranches de durée δt :

$t = n\,\delta t$, où n est un entier : 0, 1, 2,...

Les positions angulaires successives α_0, α_1, α_2, ... α_n, α_{n+1}, ... et les vitesses angulaires ω_0, ω_1, ω_2, ... ω_n, ω_{n+1}, ... sont liées par des relations récurrentes, traduction en différences finies d'expressions différentielles :

(1) $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \omega_n\,\delta t$

traduction par $\dfrac{\alpha_{n+1} - \alpha_n}{\delta t} = \omega_n$

de $\dfrac{d\alpha}{dt} = \omega$

(2) $\omega_{n+1} = \omega_n - (\frac{g}{l} \sin \alpha_n)\, \delta t$

traduction par $\frac{\omega_{n+1} - \omega_n}{\delta t} = -\frac{g}{l} \sin \alpha_n$

de $\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g}{l} \sin \alpha.$

Programme BASIC	Commentaire
10 INPUT L	Introduction de la longueur L du pendule (en mètre).
20 DT = 0.001 : K = 9.81/L	On choisit δt = 1 milliseconde ; on calcule la constante K = g/L.
30 FOR AO = 0.1 TO 3.1 STEP 0.2	La période du pendule sera calculée pour des amplitudes de 0,1 puis 0,3, etc. jusqu'à 3,1 radians.
40 A = AO : W = 0 : T = O	Initialisation du mouvement.
50 A = A + W * DT : W = W — K * DT * sin (A)	Les deux relations de récurrence.
60 T = T + DT	On passe de n à $n + 1$.
70 IF A > O THEN 50	Le calcul se poursuit aussi longtemps que l'angle reste positif. Il s'arrête dès qu'il devient négatif. T représente alors, à 1 milliseconde près, le quart de la période.
80 PRINT AO,4 * T	On imprime l'amplitude AO et la période.
90 NEXT AO	On refait le calcul avec la valeur suivante de l'amplitude.

La méthode proposée ici, très classique, n'est pas la plus performante au point de vue précision ou rapidité, mais elle a le mérite d'être simple et accessible à un élève qui a compris la notion de dérivée (relation avec les accroissements finis).

Ce programme de base, le « noyau » peut ensuite être enrichi, par exemple :

— par la vérification de la formule approchée $T = T_0 (1 + \alpha_0^2/16)$,

— par l'étude du mouvement [représentation graphique de $\alpha(t)$],

— par introduction de frottements divers (en $-k\omega$ ou $-k\omega^2$ ou solide),

— par une étude énergétique (calcul de Ec, Ep et de la somme).

Cet exemple nous montre :

— qu'à partir d'un « programme-noyau «, il est possible, en le complétant ou en le modifiant un peu, d'étudier d'autres situations,

— que des connaissances très élémentaires de programmation et d'un langage peuvent suffire dans bien des cas (4 instructions BASIC dans l'exemple cité !),

— qu'il serait dommage que les élèves n'aient pas de notions de programmation car cela limite beaucoup le caractère formateur de telles études.

De nombreux exemples relevant du même type d'utilisation (en mécanique, cinétique chimique, radioactivité, tracé de cartes de champs...) sont actuellement connus et publiés dans les numéros récents du B.U.P. (voir bibliographie).

Ces types d'études ne nécessitent pas l'utilisation d'un logiciel « en conserve » ; les programmes sont assez courts pour pouvoir être écrits sur mesure, en fonction du problème posé. Il suffit de posséder des rudiments de programmation, les instructions de base d'un langage, complétés par des notions sur l'analyse numérique. Voilà quelques éléments qui devraient faire partie d'une formation des professeurs de Sciences physiques.

LES POSSIBILITES D'UTILISATION DANS LES DIFFERENTES PHASES DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES.

Le micro-ordinateur peut trouver sa place dans les deux démarches complémentaires de notre enseignement :

Le tableau I décrit la démarche expérimentale qui, partant de l'observation, conduit à une étude expérimentale, des mesures et une recherche de lois physiques. Chaque phase donne lieu à une activité de l'élève et vise des objectifs spécifiques. L'outil informatique pourra intervenir, dans certaines conditions, pour l'acquisition des données expérimentales, leur traitement et leur représentation graphique, mais il faudra veiller à ce que les objectifs du « savoir-faire expérimental », ne soient pas court-circuités.

Le tableau II schématise l'étude d'un modèle physique, par exemple pour l'interprétation d'une loi. Cette étude passe très souvent par un traitement mathématique et, en général, le niveau des élèves et/(ou) parfois la complexité du problème, ne permettent qu'une étude simplifiée, dans des cas limites. C'est ici

que l'ordinateur peut devenir un outil irremplaçable par ses possibilités de calcul. A partir d'un programme noyau, comme nous l'avons montré sur un exemple, on peut affiner le modèle en modifiant les hypothèses initiales, en changeant les paramètres.

Le tableau III donne pour chaque type d'utilisation des exemples, les contraintes et limites, ainsi que les avantages.

Tableau I :

DEMARCHE EXPERIMENTALE

Phases	Activités	Outils	Objectifs	Utilis. ordinat.
Phénomène physique	Observation	Sens physiologiques	Sens de l'observation	Néant
Expérience	Réalisation de montages	Appareillages scientifiques ou didactiques	Savoir-faire expérimental	Néant
Mesure	Choix et contrôle des paramètres Lecture Enregistrement	Capteurs (app. de mes.)	id. avec pb de lecture, de calibre, unités...	Acquisition des données par convertion analogique numérique
Traitement des mesures	Calcul	Instruments de calcul (calculatrice actuellement)	Entraînement au traitement de données et au calcul	Traitement des données
Loi physique	Représentation des lois : formules, graphiques...	Papier Papier millim.	Entraînement à l'analyse, la synthèse, la rédaction d'un compte rendu	Résultats à l'écran, en tableau ou graphique
Applications	Résolution de problèmes	Instrument de calcul	Assimilation du concept, de la loi	Aide à la résolution d'équations

Tableau II :

MODELISATION (interprétation, théorie,...)

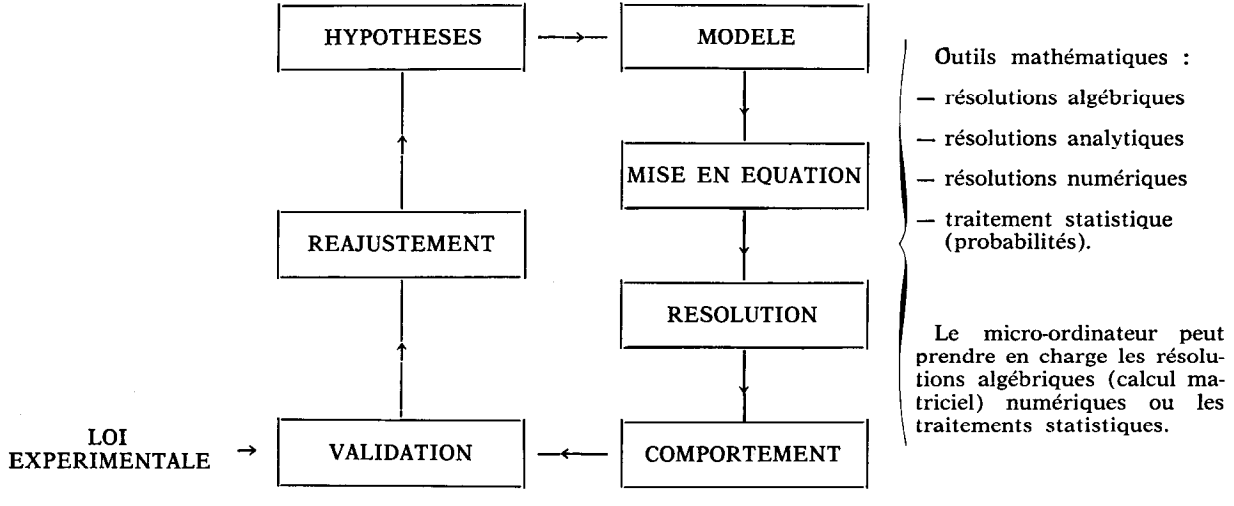

Tableau III :

UTILISATIONS - EXEMPLES - LIMITES - CONTRAINTES

Exemples-types	Avantages	Contraintes - Limites
1) Acquisition des données.		
Phénomènes transitoires (en électricité). Cinétique chimique.	Si processus, trop rapide ou trop lent. Nombreuses mesures. Peut être couplé au traitement et à la représentation.	Nécessité d'extensions (capteurs, interfaces, logiciels...). Un ensemble d'appareils par groupe de T.P. Que font les élèves (ou ne font plus) ?
2) Traitement des données.		
Tout T.P. où les calculs sont longs et répétitifs.	Rapidité. Couplage avec acquisition et avec représentation des lois. Si pas acquisition, entrée des données sur clavier.	µ ordinateur en salle de T.P. ; imprimante souhaitable. Plus d'entraînement au calcul !
3) Utilisation du graphisme.		
Lignes de champ. Représentation graphique des lois, par réseaux de courbes (pH, résonances, cinétique chimique,...). Trajectoires en mécanique. Optique géométrique : * étude de modèles de systèmes optiques.	Couplé le plus souvent avec les autres utilisat. Liberté de choix des paramètres. Possibilité d'étude de modèles inaccessibles à l'expérience : mouv. de satellites, influence du frottement,... Tracé de ligne de champ.	µ ordinateur en salle de cours ; imprimante souhaitable, ou table traç. Permet de prolonger une étude en examinant des situations nouvelles mais ne doit pas remplacer une approche expérimentale.
4) Traitement numérique de problèmes analytiques.		
Intégration par voie numérique d'équations diff. : * en mécanique : $ma = f(t, x, y, z)$, * recherche de lignes de champ, * cinétique chimique ou radioactivité.	Précède le 3. Donne des solutions acceptables, dans un temps raisonnable, avec des méthodes numériques pouvant être élémentaires. Aucune limitation dans le choix des paramètres.	µ ordinateur en salle de cours ; imprimante ou table traçante souhait. Pas de logiciels disponibles, mais nombreuses recherches en cours.

5) **Simulations de type aléatoire.**		
Chaos moléculaire (diffusion de gaz, chocs, pression, température...). Radioactivité. Diffusion de Rutherford.	Bonne simulation de tout processus de type aléatoire et son illustration.	Toute simulation d'expériences réelles ne peut se justifier que dans des cas limites.

REFLEXIONS PROPOSEES AU DEBAT.

— Nous avons voulu d'abord montrer comment les différentes utilisations possibles du micro-ordinateur dans l'enseignement de Sciences physiques peuvent s'intégrer dans les différentes phases pédagogiques. Ces possibilités sont nombreuses et variées et beaucoup plus diversifiées que celles qui servent d'exemple.

— Parmi les utilisations possibles, nous choisirons celles qui permettent une efficacité accrue, soit en prolongeant l'étude de certaines situations, soit en remplaçant certains outils, en particulier l'analyse mathématique par un traitement informatique. Ces choix se feront sur des critères prenant en compte les objectifs fondamentaux de la discipline .

— L'utilisation du micro-ordinateur pour faire de l'enseignement programmé (EAO) l'objet de nombreuses recherches, semble avoir un intérêt limité sauf peut-être comme enseignement de soutien pour des élèves en difficulté sur des problèmes ponctuels.

— L'efficacité et l'intérêt seraient accrus si les élèves possédaient des notions de programmation pour la modification, ou la réalisation de petits programmes utilitaires rencontrés dans l'étude de modèles dont la résolution mathématique dépasse les capacités à ce niveau.

Une initiation à la programmation n'étant pas prévue actuellement, il faudrait chercher des solutions de type « club informatique » pour transmettre ces notions.

— L'utilisation doit rester raisonnable, tout abus conduirait à un rejet des élèves et des professeurs. C'est le professeur, en fonction des nécessités et des ouvertures qu'il pourra apporter, qui décidera de l'opportunité de cette utilisation.

— La présence du matériel dans les salles spécialisées de Physique - Chimie semble être une condition *sine qua non.*

BIBLIOGRAPHIE DU BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS

Numéros	Titre - Thème	Pages
556	Informatique et Sciences physiques. Réflexions d'un professeur ayant bénéficié d'un stage lourd en 1970-1971	1095-1101
610	Intérêt d'un mini-ordinateur pour l'enseignement de l'Optique géométrique	475- 493
615	Simulation du trajet d'un rayon lumineux. Méthode de simulation pour l'étude des désintégrations radio-actives (avec calculatrice programmable)	1201-1210
625	Tracé de courbes pHmétriques : voir aussi B.U.P. N° 668.	
638	Numéro spécial informatique.	
651	Microprocesseur	603- 622
	Initiation à la programmation des microprocesseurs	623- 648
	Electrocinétique et informatique	649- 662
652	YOYO, calculatrice programmable et conservation de l'énergie	741- 756
	Avec des micro-ordinateurs, faire de la physique d'abord !	757- 780
661	Diode à jonction et calculatrice programmable (calcul du courant dans une diode)	607- 614
662	Physique et ordinateur. (Variation de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude sur R2E Micral 80-82)	783- 795
668	Dosage acide-base à l'aide d'un micro-ordinateur (tracé de tous les cas possibles)	257- 268
671	Logiciel « photo-couleur » (1AB, couleur d'un tirage obtenu à partir d'un négatif couleur)	621- 636

672

Technique de modélisation expérimentale à l'aide d'un micro-ordinateur	717- 740
Comment tracer des courbes de champ avec un micro-ordinateur	741- 743
Tracé de trajectoires à l'aide d'un micro-ordinateur	749- 754
Un nouvel outil pédagogique dans l'enseignement de l'électricité et de l'électronique : le micro-ordinateur (T07 + interface pour le tracé des caractéristiques et droites de charges)	765- 768
Résolution de l'équation de Laplace en électrostatique	767- 780
Etude expérimentale des régimes transitoires dans les circuits RLC, RL, RC à l'aide d'un micro-ordinateur (micro-ordinateur + interface pour faire des mesures toutes les ms)	780- 790