

LES INSTRUMENTS INFORMATISÉS VECTEURS D'UNE MISE EN RELATION DES DISCIPLINES : POINT DE VUE DES SCIENCES PHYSIQUES

Daniel BEAUFILS

INRP-TECNE
91 rue G. Péri
92120 MONTRouGE

Ce texte ne se veut pas une synthèse générale sur la question de la relation entre disciplines, ni même celle de différents travaux, mais vise à montrer sur quelques exemples comment l'introduction de moyens informatisés conduit à - mais impose aussi - une relation entre différentes disciplines. Le point d'entrée que nous choisissons est l'un des points de vue possible : l'utilisation d'instruments informatisés dans la physique enseignée au lycée. Ceci sous-entend que nous ne nous intéressons qu'aux utilisations comme instrument scientifique et non comme support d'un "enseignement assisté par ordinateur". Ajoutons ici que notre propos concerne les disciplines des lycées dits d'enseignement général et non les enseignements techniques.

I. L'ORDINATEUR EN SCIENCES PHYSIQUES AU LYCÉE

1.1 La principale utilisation : l'ordinateur outil de laboratoire

Depuis le début des années quatre-vingt, l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques repose essentiellement sur son utilisation au niveau de la réalisation d'expérience en cours ou en travaux pratiques. Cette utilisation pour mesurer, représenter, analyser fait explicitement référence aux pratiques scientifiques dans les laboratoires de recherche ou développement¹. Sur le plan didactique il convient de noter qu'il s'agit d'une introduction de l'ordinateur dans les contenus disciplinaires eux-mêmes par une double transposition des instruments informatisés et des activités qui y sont liées (modélisation par exemple). Notons aussi qu'il s'agit bien de l'ordinateur et non de l'informatique : les objectifs pédagogiques sont centrés sur l'acquisition de savoirs et savoir-faire de "physicien" et non d'informaticien.

On peut faire ici remarquer que cette approche peut apparaître comme trop exclusive. D'autres utilisations peuvent en effet être justifiées par la référence à la pratique des chercheurs, notamment la simulation numérique qui constitue le coeur de travaux menés dans certains laboratoires. Le physicien peut ainsi, à travers une véritable "expérimentation sur modèle", observer le comportement d'un système, analyser l'influence de tel ou tel paramètre, etc. Après une période où ce type d'utilisation a été occulté par "l'ordinateur outil de laboratoire", les logiciels de simulation et leur exploitation pédagogique prennent un nouvel essor. Dans les disciplines à finalité professionnelle leur usage, en électronique par exemple, a depuis longtemps été pris en considération ; dans l'enseignement "généraliste" des sciences

¹ De nombreux travaux ont été faits dans ce domaine. Voir en particulier le texte de synthèse des 8e Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences physiques [Durey, Beaufils, 1998].

physiques, cet aspect reste encore discuté, mais le développement et l'expérimentation pédagogique de logiciels tels que Explorer© , Interactive Physique©, Stella©, PSpice©, CrocodileClip©, LabDoc©, etc., marquent l'évolution actuelle. Ajoutons enfin que l'utilisation de logiciels de gestion de banques de données, si elle est mise en avant par quelques logiciels en chimie notamment (Eurisko !©, par exemple) est peu répandue. Nous reviendrons sur ce point dans la quatrième partie.

1.2. Des nouveaux savoirs et savoir-faire

L'introduction de l'ordinateur dans le laboratoire de physique des lycées vient donc modifier les activités expérimentales au niveau des démarches de confrontation modèle/mesures. Mais de nouvelles connaissances et compétences relatives à ces moyens et méthodes s'imposent alors, relatives à la conduites d'acquisition de mesures automatique, à l'optimisation de modèles, aux traitements statistiques des incertitudes, etc. Dans le cadre d'un travail de recherche mené à l'INRP², nous avons effectué une analyse de fiches de travaux pratiques [MEN 1994, 1995] proposant des utilisations de l'ordinateur qui a permis d'affiner le repérage des différents savoirs et savoir-faire mis en jeu.

La liste des compétences qui, pensons-nous, relèvent d'un enseignement de sciences physiques, est donnée ci-dessous sur deux niveaux. Le premier contient les connaissances à acquérir au cours de la formation, le second présente ceux que nous considérons de plus comme "raisonnablement exigibles". À l'instar d'un savoir faire les connexions sur les voies d'entrée d'un oscilloscope, nous considérons qu'un élève sortant de Terminale S, devrait savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface. De la même façon qu'il est censé savoir faire un goutte à goutte en pH-métrie, il devrait savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique (déclenchement, validation clavier, entrée de valeurs au clavier, etc.). Si l'on peut attendre d'un élève qu'il sache choisir un calibre, une base de temps, on peut alors demander qu'il sache paramétrer une acquisition automatique ou semi-automatique [Richoux et al., 1998].

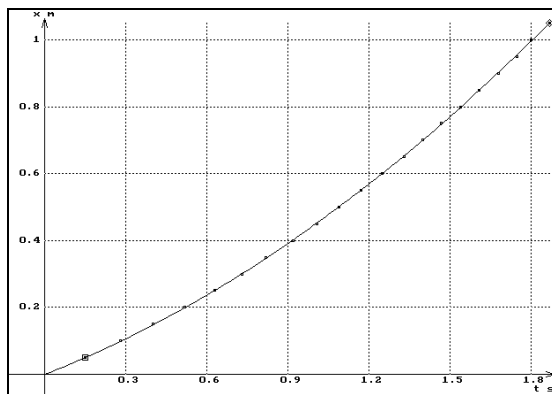
<i>évaluation en formation</i>	<i>évaluation sommative</i>
<ul style="list-style-type: none"> - savoir reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée ; - savoir utiliser une procédure/commande de résolution numérique d'équation différentielle. - connaître le rôle d'une interface en tant que convertisseur analogique numérique échantillonnage dans le temps et valeurs quantifiées ; - connaître le principe d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, telle la régression linéaire) ; - connaître le principe de résolution numérique d'une équation différentielle du premier ordre (calcul approché par accroissement fini). - savoir mettre en oeuvre la régression linéaire 	<ul style="list-style-type: none"> - connaître l'existence de paramétrages d'acquisition : durée, intervalle de temps, nombre de points, mode de déclenchement ; - connaître le principe de la "dérivation numérique" ; - connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, en particulier la régression linéaire) ; - savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ou sélectionner le bon calibre d'entrée de l'interface (ou de l'adaptateur de l'interface). - savoir utiliser une méthode de dérivation numérique ou d'intégration numérique.

² Recherche "Caractérisation et évaluation des activités expérimentales utilisant des moyens informatisés", INRP-TECNE. Voir aussi Beaufiles, Richoux, 1996].

<p>sur un ensemble de données pour déterminer les valeurs des paramètres ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - savoir mettre en oeuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres ; - savoir mettre en oeuvre une méthode de résolution numérique d'équation différentielle. 	<ul style="list-style-type: none"> - savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique ; - savoir utiliser une procédure/ commande d'optimisation de modèle ; - savoir paramétrer une acquisition automatique ou semi-automatique.
---	--

La prise en compte de ces savoirs et savoir-faire, c'est-à-dire à la fois leur enseignement et l'évaluation des apprentissages correspondants, ne doit pas être vue comme un ajout proposé dans l'idée d'un complément d'information. En effet, différentes expérimentations et observations ont montré que, en l'absence de connaissances minimales des principes des outils et méthodes, les élèves ne pouvaient en faire une utilisation raisonnée, et risquaient de se trouver en difficulté devant des "résultats".

Ainsi, pour ce qui concerne la résolution numérique des équations différentielles ($y'' = f(x, y, y')$), la similitude d'écriture des équations conduit certains élèves à interpréter le tracé sur l'écran non pas comme la représentation de la solution numérique $y(x)$ mais comme la courbe représentative de y'' en fonction de x ($y'' = f(x)$) ! Dans d'autres cas, la difficulté vient de ce que le résultat visible sur l'écran (courbe passant au mieux par les points expérimentaux, voir figure ci-après) est la même que la modélisation soit faite par une fonction ou par une équation différentielle, alors que ces deux modes de modélisation, s'inscrivent dans des démarches qui sont fondamentalement différentes.



Conversion du fichier PLAN : 20 mesures

t = temps en seconde
 x = abscisse en mètres
 $V_x = d(x)/d(t)$ = vitesse en mètre/secondes

$$x'' = 0.2646$$

$$V_{x0} = 310.8m \pm 27\mu$$

Ecart moyen sur $x = 1m$

Il en est de même au niveau de l'exploitation des résultats fournis par les logiciels de modélisation. En particulier parce que les élèves ne savent pas d'où viennent les indications du type $V_{x0} = 310.8m \pm 27\mu$ ou *Ecart moyen = 1m*, ils sont dans l'impossibilité de les prendre en compte, en particulier dans l'écriture scientifique des valeurs avec un bon nombre de chiffres significatifs.

II. DES PRÉ-REQUIS QUI RELÈVENT D'UN ENSEIGNEMENT D'INFORMATIQUE

L'analyse de fiches de travaux pratiques que nous avons évoquée ci-dessus a permis également de lister un certain nombre de savoirs et de savoir-faire qui relèvent, à notre sens, d'un

enseignement d'informatique³ et qui apparaissent, du point de vue de l'enseignement de la physique au lycée, comme (pré)requis. Cela signifie qu'en l'absence de ces savoirs et savoir-faire, la conduite d'une activité scientifique est illusoire. Nous avons ainsi été amenés à distinguer ce que nous avons appelé des *pré-requis fondamentaux*, qui à l'instar de l'utilisation d'une calculette "4 opérations", sont clairement à faire acquérir aux élèves au plus tôt, au collège en particulier. Il s'agit de savoirs et savoir-faire du type : savoir lancer un logiciel spécifié, savoir entrer un nombre, charger un fichier, renseigner une zone de saisie multiple, etc. Les autres savoirs et savoir-faire requis sont ici qualifiés de *second ordre* : il s'agit par exemple de connaissances relatives à l'utilisation des logiciels utilisés en classe de science et qui sont donc utiles pour conduire à bien les activités scientifiques, mais qui ne peuvent à l'évidence pas faire l'objet d'une évaluation. Il s'agit de connaissances du type : connaître la commande d'obtention/configuration de représentation graphique, savoir obtenir une courbe à partir de l'expression mathématique d'une fonction, etc.

<i>pré-requis fondamentaux</i>	<i>pré-requis du second ordre</i>
<ul style="list-style-type: none"> - savoir mettre en route l'ordinateur, l'imprimante,... ; - savoir lancer un logiciel spécifié ; - savoir entrer un nombre, une lettre, un mot dans une zone spécifiée, ...; - savoir charger un fichier spécifié ou sauvegarder des résultats.... ; - savoir se déplacer dans un menu de commandes, valider une commande ; - savoir renseigner une zone de saisie multiple ; - savoir entrer une expression définie par une fonction mathématique ; - savoir définir de nouvelles colonnes dans un tableur ou un logiciel équivalent donné ; - savoir obtenir une représentation graphique spécifiée à partir d'un tableau de valeurs ; - connaître des termes de vocabulaire général... - connaître l'existence de paramétrages de représentation graphique... ; 	<ul style="list-style-type: none"> - savoir obtenir une courbe à partir de l'expression mathématique d'une fonction donnée ; - connaître la commande logicielle de lancement/exécution d'une acquisition ; - connaître la commande logicielle permettant le calcul et la représentation d'un tableau de valeurs ; - connaître la commande logicielle d'obtention/configuration de représentation graphique ; - connaître la commande logicielle de tracé de courbes mathématiques ; - connaître la commande logicielle permettant l'optimisation de modèle ; - connaître la commande logicielle d'une fonctionnalité ou d'un traitement spécifique ; - connaître la commande logicielle de paramétrage et exécution d'une résolution numérique d'équation différentielle.

Si, dans cette liste, un certain nombre de connaissances liées à l'utilisation de logiciels d'acquisition ou de modélisation en physique peuvent être considérées comme trop spécifiques pour un enseignement d'informatique en Seconde⁴, elles sont abordées dans le cadre l'actuelle option IESP (Informatique et électronique pour les Sciences physiques) ouverte aux élèves des lycées d'enseignement général.

³ En principe, cet enseignement est offert à tous les élèves de la classe de Seconde depuis cette année scolaire.

⁴ Bien que l'objectif de cet enseignement en classe de Seconde soit de faciliter l'usage de l'ordinateur dans les disciplines "classiques".

III. UNE RELATION FONDAMENTALE AVEC LES MATHÉMATIQUES

Dans l'ensemble des outils utilisés par les élèves figurent la dérivation numérique, l'optimisation de modèle et la résolution numérique d'équations différentielles, outils devenus incontournables dans le cadre des nouveaux programmes de physique, de Terminale scientifique notamment. Il apparaît alors indispensable d'assurer une connaissance minimale permettant de comprendre leurs limites d'utilisation et le sens des résultats qu'ils fournissent, par exemple :

- la question du calcul des valeurs extrêmes dans une dérivation numérique sur points expérimentaux,
- l'importance des conditions initiales pour obtenir la résolution d'équations différentielles,
- le choix de premières valeurs de paramètres dans une procédure d'optimisation de modèle,
- la compréhension des informations relatives aux incertitudes fournies par certains logiciels.

Mais une telle formation dépasse le domaine de l'enseignement de la physique et relève de l'enseignement des mathématiques où sont traités la résolution analytique des équations et les suites et séries numériques ; les élèves peuvent comprendre la différence, mais aussi la complémentarité, des calculs analytiques et numériques.

Une articulation forte entre les enseignements de sciences physiques et de mathématiques s'impose donc. Celle-ci a fait l'objet d'une expérience dans le cadre de la recherche déjà citée [Ducaté, Cazaux, 1998], dont nous en donnons le schéma ci-dessous.

1. Dérivation numérique.	
<i>TP de physique :</i> Étude de la vitesse lors d'une chute libre.	<i>Cours de mathématiques:</i> Introduction de la méthode de calcul.
2. Modélisation à l'aide d'une fonction avec détermination de paramètres par optimisation	
<i>Cours et TP de physique :</i> Analyse de la relation vitesse/temps pour la chute libre : optimisation du modèle de $v(t)$ par la méthode des moindres carrés disponible dans le logiciel. Étude équivalente du mouvement d'un solide sur un plan incliné.	<i>TD de mathématiques:</i> Étude de l'écart quadratique moyen Étude de la fonction $J(a) = \alpha a^2 - \beta a + \gamma$. Existence et détermination de son minimum.
3. Incertitudes sur les mesures	
<i>TP de physique :</i> Étude du pendule pesant : modélisation de la courbe expérimentale donnant la période T en fonction de la longueur l . Nécessité d'une prise en compte des incertitudes expérimentales.	<i>Cours de mathématiques :</i> Des outils statistiques pour l'estimation des incertitudes dans les mesures en physique : moyenne d'une population à partir d'un échantillon de N valeurs, écart-type et intervalle de confiance
<i>TP physique :</i> Analyse d'une acquisition de données : charge d'un condensateur ; mesures et modélisation par fonction. Estimation de l'incertitude sur chaque	<i>Cours de mathématiques:</i> Lien entre l'écart quadratique moyen et écart-type

mesure à partir de l'écart quadratique.	
4. Résolution numérique d'équations différentielles	
<i>Cours de physique :</i> Charge du condensateur. Établissement de l'équation différentielle donnant la tension au cours de sa décharge.	<i>Cours de mathématiques:</i> Introduction des équations différentielles du premier ordre à second membre nul et de leurs solutions analytiques.
<i>Cours fait commun mathématiques - physique :</i> Introduction de la méthode d'Euler pour la résolution numérique d'une équation différentielle du premier ordre. Application à l'étude de la décharge d'un condensateur. Comparaison avec la courbe de la solution analytique. Importance du pas du calcul.	
<i>TP de physique :</i> Établissement du courant dans un circuit avec une bobine. Confrontation des mesures et du modèle obtenu par résolution numérique de l'équation différentielle. <i>TP de physique :</i> Modélisation des oscillateurs. Manipulation des modèles numériques d'oscillateurs : allure des oscillations linéaires et non linéaires.	

IV. UNE COMPLÉMENTARITÉ AVEC LES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

On pourra s'étonner de voir placer cette relation sciences physiques et sciences de la vie et de la Terre en troisième position. Il faut pourtant bien dire que, si la proximité est assurée dans le discours par le syntagme "sciences expérimentales", leur recouvrement est faible, tant au niveau des contenus et méthodes qu'au niveau des données expérimentales et des instruments. Si l'enseignant de sciences physiques peut très souvent reproduire des phénomènes dans l'espace de la paillasse et dans le temps d'une séance de travaux pratiques, il n'en est pas de même en biologie et géologie où l'expérimentation est nécessairement limitée par des raisons matérielles évidentes (phénomènes de dimension planétaires dans l'espace et le temps) et des raisons "éthiques" (interdiction d'expérimenter sur les vertébrés).

S'il existe des sujets qui permettent de trouver des utilisations de l'ordinateur pour faire des mesures, ils restent donc peu nombreux, et c'est plutôt en terme de complémentarité des utilisations de l'ordinateur outil de laboratoire qu'il convient sans doute d'aborder la question. Car si la nature des objets d'étude change, il s'agit également d'activités d'investigation scientifique où la modélisation occupe une place importante⁵ [Beaufils, Salamé, 1989]. Les usages de l'ordinateur pour explorer des bases de données, pour analyser un grand nombre de données, pour modéliser les phénomènes à grande échelle sont aussi des outils de laboratoire. À ce titre, et en relation avec les éléments donnés en première partie, l'association des deux

⁵ Notons que la proximité des disciplines au niveau des méthodes est plutôt perçue entre la biologie et la chimie d'une part, et la physique et les mathématiques, d'autre part.

disciplines amène les élèves à découvrir tout un ensemble de moyens informatisés complémentaires [Duval, Salamé, 1997].

V. DES LIENS POSSIBLES AVEC L'ENSEIGNEMENT ARTISTIQUE

Dans les parties ci-dessus, c'est le lien avec les disciplines scientifiques "voisines" qui a été présenté. Il nous paraît important d'indiquer également des relations potentielles avec des disciplines telles que "art plastiques" et "éducation musicale".

Notons d'abord que ces relations peuvent paraître inhabituelles dans le cadre de l'enseignement général, mais qu'elles sont au contraire tout à fait réelles dans les options F11 (pour la musique) et F12 (pour les arts plastiques) dans lesquelles les questions relatives au traitement ou à la synthèse - des sons comme des couleurs - touchent évidemment le domaine des sciences et techniques. Les travaux menés à l'Institut national de Recherche pédagogique (département Technologies Nouvelles et Éducation) sur l'imagerie scientifique puis l'acoustique, nous ont amenés, indirectement puis explicitement à réfléchir aux liens avec les disciplines artistiques.

En effet, les méthodes d'enregistrement, traitement et restitution des images numériques que nous avons abordées dans le cadre d'activités scientifiques (thermographie, télédétection, images optiques, etc., [Beaufils et al. 1997]) reposent sur des algorithmes de codage et de filtrage numériques qui relèvent de procédés informatiques, eux-mêmes mis en oeuvre dans des activités artistiques. Notons, sans détailler, que la relation art-science via les méthodes numériques est au centre des activités des laboratoires de restauration et des organismes d'archivage des oeuvres d'art [Le Touzé, Salamé, 1996]. Plus récemment, un travail a été mené sur le thème "physique-musique" au niveau de la classe de seconde où le programme de physique comporte une partie d'acoustique musicale. La connexion entre les deux disciplines est évidente au niveau des moyens informatiques mis en oeuvre : le microphone est le capteur, la carte son est l'interface et les logiciels d'analyse, traitement, synthèse des sons reposent sur des notions de physique précises telles que l'analyse de Fourier, le filtrage numérique, la modulation de signaux, etc. [Serra, et al., 1998]. Là encore, d'une part cette possibilité n'est pas limitée à la classe de seconde mais peut s'étendre du collège jusqu'à la formation des ingénieurs et d'autre part, la relation art-physique via ces moyens informatiques est au centre des activités de laboratoires tels que l'IRCAM, le GRM, etc.

VI. CONCLUSION

Les relations entre disciplines⁶ sont souvent prônées, mais beaucoup moins souvent mises dans les faits. Les causes du cloisonnement des disciplines sont sans aucun doute fort complexes et nous n'avons pas la prétention de dire que l'usage de l'ordinateur et d'instruments informatisés peut créer automatiquement cette mise en relation. Il nous paraît clair que cela doit passer par des indications explicites dans les contenus des programmes et ne pas rester au niveau d'une déclaration d'intentions dans les objectifs généraux. Dans le même esprit, il

⁶ Et nous ne parlons pas d'interdisciplinarité...

nous paraît nécessaire de reconsidérer l'enseignement à composante informatique tel qu'il est en seconde (enseignement d'informatique et IESP) : nos analyses des savoirs et savoir-faire requis conduisent en effet à penser qu'une large partie du contenu de ces enseignements ne devrait pas être considérée comme optionnelle mais constitutive de disciplines du tronc commun. Une telle réflexion sur les programmes doit naturellement s'intéresser à la progression des apprentissages et à l'articulation des différents niveaux, en particulier la transition collège-lycée.

Pour ce qui concerne les contenus disciplinaires, l'introduction d'un usage raisonné des moyens informatisés impose de nouveaux savoirs et savoir-faire. Mais aucune discipline ne peut prendre en charge l'introduction de tous ceux qui, du pré-requis général aux aspects spécifiques, sont mis en jeu dans les activités ainsi instrumentées : une coordination, dans le sens d'une complémentarité s'impose. De plus, si l'on garde à l'esprit que c'est le même élève qui aurait à acquérir ces connaissances, il conviendrait en effet qu'elles ne consistent pas en un ajout multiplié par le nombre de disciplines, mais bien qu'une partie au moins d'entre elles soit transversale.

Références bibliographiques

Beaufils D., 1991. L'informatique dans les sciences physiques au second degré, problématique générale et quelques conséquences sur les contenus, in *Informatique et apprentissages*, actes d'université d'été, Paris : INRP-ISHA, 47-57.

Beaufils D. et al., 1997. *Images et nouvelles technologies : des activités expérimentales dans l'enseignement de la physique*, INRP, Coll. DOCUTECH, n°27, 139p.

Beaufils D., Richoux H., 1996. *Intégration de l'ordinateur outil d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée*, Paris : INRP, Coll. Documents et travaux de recherche en éducation, n°20, 130p.

Beaufils D., Salamé N., 1989. Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ?, in *Expérimenter, modéliser*, Revue *ASTER*, n°8, 55-79.

Beaufils D., Schwob M. (Eds). 1997. *Outils informatiques d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques*, Actes de l'Université d'été (Nantes, 1995), Paris : INRP-UdP, 272p.

CNDP, 1995. *Des outils pour le calcul et le traçage de courbes*, Dossier de l'ingénierie éducative n°19, Paris : CNDP.

CNDP, 1995. *Les images numériques*, Dossier de l'ingénierie éducative n°21, Paris : CNDP.

Ducaté A., Cazaux B., 1998. Méthodes numériques et incertitudes en terminale scientifique : articulation entre mathématiques et physique, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 109-114..

Durey A. (Coord.), Beaufils D., 1998. L'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques : questions de didactique, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 63-74.

Durey A., 1989. Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs, revue *ASTER*, n°8, 161-186.

Duval J.-C., SalamÉ, N. (éds.), 1997. *Informatique et communications dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre*. Paris : INRP. 351 p.

INRP, 1992. *Intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants*, Paris : INRP-EPI, 88-99.

Le Touzé J.C., Beaufils D., 1998. Un serveur physique, musique et informatique, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 239-240.

Le Touzé, J.-C., Salamé, N.(coord.), 1996. *Images numériques dans l'enseignement des sciences*. Paris : INRP, Coll.Documents et travaux de recherche en éducation, n° 19, 175 p.

Le Touzé J.C., Beaufils D., 1992. Des images numérisées en physique ?, in actes des journées nationales *Informatique et pédagogie des sciences physiques*, Paris : UdP-INRP, 75-80.

MEN, 1994. *La physique, la chimie et l'ordinateur*, Brochure (Tome 2), Paris : MEN, 210p.

MEN, 1995. *Physique-Chimie et informatique*, La brochure EVARISTE (Tome 2), Paris : MEN, 238p

Richoux H., et al., 1998. Évaluation des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation de moyens informatisés dans les classes scientifiques du lycée, in actes des 8e *Journées Nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 151-156.

Salamé N., Blondel F.M., Beaufils D., 1990. Le double transfert de connaissances scientifiques et informatiques : exemples en biologie, physique, géographie, in *Le transfert des connaissances en sciences et techniques*, actes du colloque international Anthéna 89, Université de Montpellier II, 261-266.

Serra G., Beaufils D., Caubisens P., 1998. Physique, informatique et musique, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 163-168.

Trigeassou J.-C., 1988. *Recherche de modèles expérimentaux assistée par ordinateur*, Paris : Tec&Doc, Lavoisier, 368 p.

Liste des logiciels évoqués

Chute : étude du mouvement de chute verticale, Jeulin, 1989.

Plan : étude du mouvement sur un plan incliné, Jeulin, 1990,

Image II : logiciel Windows pour l'exploitation d'images numériques. Coédition INRP-CNDP ; distribution JEULIN.

Regressi : tableur-grapheur scientifique, Microlec, 1989.

LABDoc : laboratoire virtuel, Jeulin, 1998.

Pspice : logiciel de simulation électronique, ALS-Design.

CrocodileClip : logiciel de simulation électrique pour l'enseignement, Pierron.

Interactive Physique, logiciel de simulation de systèmes mécaniques, PHYLAB .

Stella II, logiciel général pour la simulation de systèmes à compartiments, K.B.S.

Eurisko! Logiciel base de données physico-chimiques, CDIEC.