HAL
open science

Outils informatiques et interdisciplinarité physique/musique

Jean-Claude Le Touzé, Daniel Beaufils

▶ To cite this version:

Jean-Claude Le Touzé, Daniel Beaufils. Outils informatiques et interdisciplinarité physique/musique. Revue de l'EPI (Enseignement Public et Informatique), 1998, 91, pp.89-100. edutice-00001166

HAL Id: edutice-00001166
https://edutice.hal.science/edutice-00001166

Submitted on 15 Nov 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

OUTILS INFORMATIQUES ET INTERDISCIPLINARITÉ PHYSIQUE / MUSIQUE (une recherche et un site Internet)

Jean-Claude LE TOUZÉ, Daniel BEAUFILS

I. LES POTENTIALITÉS D'UNE INTERDISCIPLINARITÉ PHYSIQUE / MUSIQUE

1.1. Le contexte

La mise en place en 1992 de nouveaux programmes des classes de lycée a ouvert une part significative à l'utilisation d'outils informatisés dans de nombreuses disciplines. Les Sciences physiques et l'Éducation musicale se sont alors trouvées mises en relation, à la fois par le contenu de leurs programmes respectifs (en classe de seconde) et par les moyens informatiques auxquels elles recourent.

Ainsi, les principes directeurs des programmes de sciences physiques des lycées font mention des relations transversales notamment avec l'informatique, la musique et les arts plastiques. Les contenus des programmes de la classe de Seconde contiennent explicitement des éléments d'acoustique musicale (hauteur et timbre d'un son, fondamental et harmoniques, tessiture, etc.) avec, comme activités supports, l'enregistrement de sons captés par un microphone relié à un ordinateur et leur analyse spectrale, ou l'explication du principe du synthétiseur.

Dans l'introduction générale des programmes d'éducation musicale de l'époque, il était indiqué que le travail sur le matériau sonore pouvait être mené sur du son concret ou sur du son de synthèse, et que des travaux scientifiques et créatifs pouvaient être menés en liaison avec le cours de physique. Pour ce qui concerne les aspects matériels, le texte du B.O. de 1992 indiquait de façon explicite la nécessité de supports « techniques » modernes : ordinateur muni d'une carte de numérisation sonore et d'une interface MIDI - synthétiseur interfacé MIDI - logiciels d'analyse et de synthèse de sons, logiciels de composition musicale.

Les textes évoqués ci-dessus montrent une zone de recouvrement des deux disciplines, tant au niveau des contenus (centré sur les notions qui relèvent de l'analyse spectrale) qu'à celui des outils informatiques. La problématique de l'interdisciplinarité, peu originale au niveau des concepts, est renouvelée par l'existence d'outils et d'instruments communs ancrés sur les nouvelles technologies. De plus, on peut noter que le choix de certains contenus et de certaines activités peuvent se légitimer en référence à des pratiques sociales et/ou professionnelles à caractère pluridisciplinaire et mettant en oeuvre des moyens informatisés : l'IRCAM [1], le GRM [2] de l'INA, le GAIV [3], etc.

1.2. Des questions pour une recherche [4]

Ce thème transdisciplinaire de l'acoustique musicale a suscité de nombreuses discussions et un certain nombre de questions nécessitait un travail plus en profondeur, notamment :

- que mettre, en termes de contenus et d'activités d'élèves, au-delà des libellés des programmes pour ce qui concerne l'interdisciplinarité physique-musique ?
- y a-t-il accord des spécialistes des deux disciplines quant à l'appartenance des différents concepts et outils à l'une ou l'autre des disciplines (ou aux deux) ?
- quels outils informatiques, communs ou complémentaires, existants ou à créer, peuvent ou doivent être utilisés en physique et en musique ?
- quels sont les prérequis musicaux (savoir théorique et capacités perceptives) nécessaires à certaines explications scientifiques sur ce thème ? Et, réciproquement, pour ce qui est des prérequis scientifiques à certaines explications musicales ?

Pour y répondre nous avons conduit, durant plus de deux années, un travail d'analyse, d'observation et d'expérimentation sur les points suivants :

---

1 Institut de Recherche et de Coordination Acoustique / Musique.

2 Groupe de Recherches Musicales de l'Institut National de l'Audiovisuel.

3 Groupe Arts & Informatiques de Vincennes (Saint Denis), université Paris 8.

4 Recherche « Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique / musique dans l'enseignement de lycée » ; voir [Beaufils, 1995] ; ont participé à cette recherche : Benz H. (Aix-Marseille), Caillaud B. (Caen), Caubisens P. (Toulouse), Favre-Nicolin R. (Grenoble), Maestracci V. (Paris), Serra G. (Aix-Marseille), Trioulaire A. (Besançon), Vilcosqui M.-J. (Versailles).

- bilan des relations entre physique et musique dans les programmes d'enseignement ;
- analyse critique de manuels de physique de la classe de seconde ;
- enquête auprès d'enseignants de physique et de musique sur les contenus et les matériels ;
- test de perception auprès d'élèves de collège et de lycée ;
- étude de logiciels audionumériques d'analyse spectrale et de synthèse sonore ;
- expérimentation d'utilisation de logiciels audionumériques en classe de seconde.

L'ensemble des travaux a conduit à la *réalisation d'un site Internet « Physique-Musique »*. Dans la suite, nous présentons quelques uns des résultats qui nous paraissent importants, puis nous présentons la structure du site et les ressources qu'il offre aux enseignants.

II. À PROPOS DES CONTENUS ENSEIGNÉS

2.1. En termes de connaissances

Le recouvrement des champs syntaxique et conceptuel des programmes de physique et de musique est à l'origine de nombreux débats entre enseignants de ces deux disciplines. Il est apparu que des *divergences* portaient sur l'appartenance de telle ou telle notion à l'une ou l'autre des disciplines mais aussi, et surtout, *sur les définitions mêmes de certaines notions*.

Ainsi, si tous s'accordent sur l'intérêt d'aborder une notion telle que le « son musical », les « musiciens » n'y entendent pas la même chose que les « physiciens », à tel point que *ce qui est musical pour les uns ne l'est pas du tout pour les autres*... Le « physicien » s'intéresse aux régimes stationnaires tandis que le « musicien » s'intéresse à l'évolution temporelle des partiels. Cette différence se retrouve, de façon marquée, dans les définitions de certaines notions comme hauteur et timbre. Au « physicien » qui les ramène au jeu de quelques valeurs numériques (fréquence d'un signal périodique pour la hauteur, et amplitude relative des composantes harmoniques de ce même signal pour le timbre), le musicien fera remarquer que la perception de hauteur est en fait liée aux intervalles entre harmoniques, tandis que le timbre dépend très fortement de l'attaque et des résonances secondaires...

Une analyse des manuels scolaires de sciences physiques de la classe de seconde a fait ressortir les difficultés d'une telle réduction des définitions des notions de hauteur, timbre, intensité. Parce que celles-ci relèvent à l'évidence des trois domaines que sont la physique, la technologie et la physiologie de la perception, mais qu'elles sont restreintes au seul premier domaine, *les définitions données aux élèves de seconde sont toujours ambiguës et peuvent généralement conduire à de fausses conceptions*. Parallèlement, une enquête auprès d'enseignants de physique et d'éducation musicale, portant notamment sur une quinzaine de définitions, a montré la divergence globale entre « physicien » et « musicien » et est venu confirmer les difficultés évoquées ci-dessus : ainsi, *les termes comme « bruit », « harmonique », « hauteur », « intensité » et « son fondamental » sont source d'un net désaccord*.

2.2. En termes de compétences des élèves

Même s'il n'en fait pas mention, le programme d'acoustique musicale de physique de Seconde repose sur *l'hypothèse que les élèves sont capables de percevoir et distinguer les différentes caractéristiques d'un son : hauteur, timbre, intensité*.

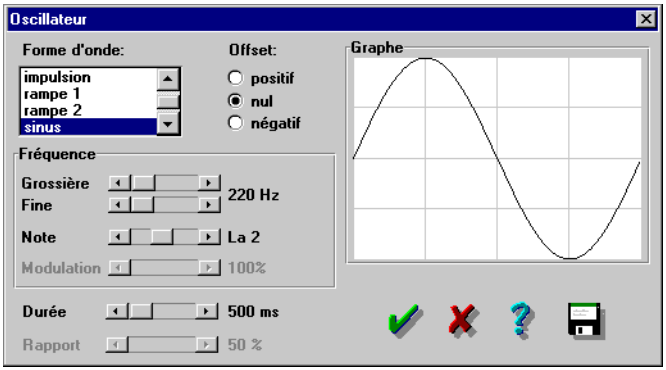
Nous avons donc élaboré un petit test fondé sur l'écoute et la comparaison de courts sons qui a été proposé en classe de Troisième (dans le cadre du cours d'éducation musicale) et en classe de Seconde (dans le cadre du cours de sciences physiques). Si, à un premier niveau on constate qu'une large majorité des élèves associent correctement fréquence et hauteur dans des cas simples, pensent que le son de la flûte est un son pur, sont sensibles à la consonance/dissonance, etc., on constate aussi que *la reconnaissance de la hauteur est perturbée par une variation de timbre*, et que la perception de l'existence de deux notes lorsqu'elles sont jouées ensembles n'est pas garantie. Ceci nous paraît important, puisque cela vient *mettre en question certaines activités proposées aux élèves*[5] qui, soit apparaissent purement formelles, soit conduisent à des situations très limitées, parfois artificielles.

5 Dans les manuels scolaires de physique de Seconde et dans certains sites pédagogiques sur Internet.

III. À propos des outils/ instruments

3.1. Des logiciels communs ?

L'idée d'une interdisciplinarité renouvelée repose sur l'existence d'outils informatiques communs. Ceux-ci existent sous la forme de logiciels audionumériques grand public, commercialisés ou libres de droits. Un grand nombre d'entre eux, conçus généralement pour des musiciens, offrent en effet tout ce que le « physicien » peut attendre (en particulier : possibilités d'enregistrement, d'analyse spectrale et de synthèse sonore).



Fenêtre d'un générateur-oscillateur (logiciel VirtualWaves 2 ©) : réglage de la fréquence ou choix de la note, sélection de la forme du signal (timbre)

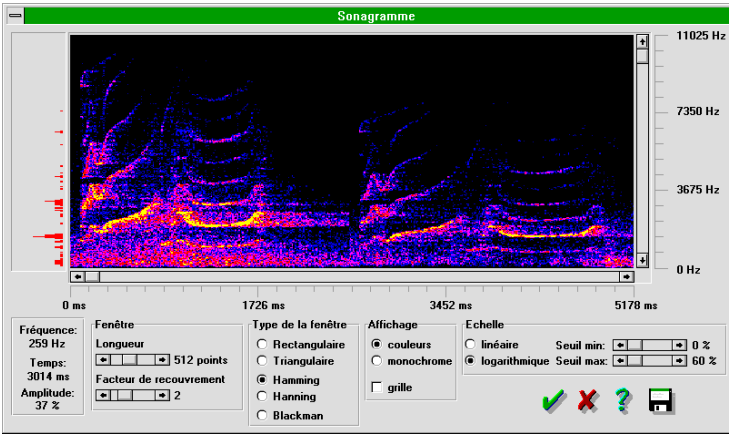
Pourtant, leur usage partagé s'avère difficile. En effet, pour le musicien les paramètres offerts aux réglages ne sont pas toujours pertinents au niveau de la perception, tandis que le physicien se retrouve dans un univers inhabituel : les générateurs n'ont pas les réglages habituels des appareils, et de nombreux oscillateurs ou modules de traitement lui sont étrangers.

De notre enquête il est ressorti, d'une part, que les « physiciens » utilisent préférentiellement des logiciels dédiés à l'enseignement de la physique, d'autre part, que *les « musiciens » sont très peu utilisateurs des moyens informatiques* et, lorsqu'ils le sont, n'utilisent que les possibilités de connexion à des synthétiseurs à la norme MIDI.

3.2. Un outil pourtant parfaitement adapté : le sonagramme

Nous avons évoqué ci-dessus la place centrale des outils d'analyse et de représentation spectrale. Parmi eux figure le sonagramme, bien connu des acousticiens. Or, curieusement, malgré les références d'utilisations scientifiques (nombreuses en acoustique musicale ou non) et malgré

l'évidence de l'adaptation de l'outil informatique pour l'analyse spectrale tant qualitative que quantitative, cette méthode est jugée *a priori* trop complexe par l'enseignant de physique et reste pratiquement inconnue des enseignants d'éducation musicale...



Sonagramme d'un chant de baleine : dates en abscisse, fréquences en ordonnées, et amplitudes en niveaux de couleurs. Logiciel VirtualWaves 2 ©

Tant par les avantages sur le plan de l'analyse scientifique (l'image « sonagraphique » étant numérique et calculée, toutes les valeurs sont accessibles immédiatement), que sur le plan didactique (la représentation des hauteurs et des durées est particulièrement « naturelle »), *le sonagramme nous paraît un outil à privilégier*, et les essais que nous avons faits avec des élèves[6] n'ont pas indiqué l'existence de difficultés particulière de compréhension ou de lecture.

IV. À PROPOS DES ACTIVITÉS

4.1. La complémentarité physique-musique

Compte tenu des points de vue divergents des « physiciens » et des « musiciens », il semble *difficile d'envisager des activités communes*. Par contre, les uns s'intéressant à « l'intérieur du son », les autres à l'exploitation des « objets sonores », il semble *possible de trouver des activités complémentaires*, chacune d'elles pouvant à un moment ou un autre renvoyer à l'autre discipline pour plus d'information.

Nous proposons en particulier d'articuler un « registre timbral / spectral » et un « registre musical ». Dans le premier, le son est pris en

6 B. Caillaud, Lycée Malherbe, Caen.

tant qu'objet : écoute et analyse d'un son de corde pincée, d'un chant d'oiseau, d'un bruit d'eau, etc., avec l'objectif de pouvoir le décrire et le resynthétiser. Dans le second, l'essentiel est l'agencement des objets sonores dans leur relation verticale (harmonie) et leur extension horizontale (mélodie), et les activités sont clairement tournées vers cette mise en relation dans un agencement musical [7].

Cette différenciation permet de clarifier ce qui, tout en étant en relation avec l'autre discipline, peut être envisagé pour la physique et la musique. En particulier, le premier registre qui concerne évidemment la physique conduit à recentrer le cours sur la synthèse spectrale : la démarche classique d'analyse est alors « inversée » puisqu'il s'agit d'abord de montrer que par synthèse additive on peut obtenir des sons « naturels ». Cette séparation met aussi au clair la séparation entre les outils à utiliser : logiciels d'analyse et de synthèse pour les premiers, tout logiciel permettant le couper-coller pour les seconds [8].

4.2. Les avantages du domaine sonore dans l'enseignement de la physique

Notre étude des logiciels audionumériques nous a conduits à nous intéresser aux possibilités d'exploitation des différents outils de représentation et de synthèse sonore pour l'enseignement de notions de physique traitées habituellement dans des domaines autres que l'acoustique et à des niveaux d'enseignement différents de la classe de Seconde.

Ainsi, par exemple, en classe Terminale ils offrent une opportunité pour illustrer le principe et les utilisations des *modulations d'amplitude et de fréquence* [9]. La modulation d'un signal sinusoïdal par un son, capté par un micro et numérisé, est intéressante à double titre : celui de générer un signal modulé entièrement perceptible et celui d'en obtenir une représentation sonagraphique montrant l'information inscrite dans le contenu fréquentiel. On peut également illustrer la modulation de fréquence avec la possibilité de jouer facilement sur les différents paramètres (forme, fréquence et amplitude) de chaque oscillateur et de comparer les différents spectres du signal ainsi obtenu et entendu !

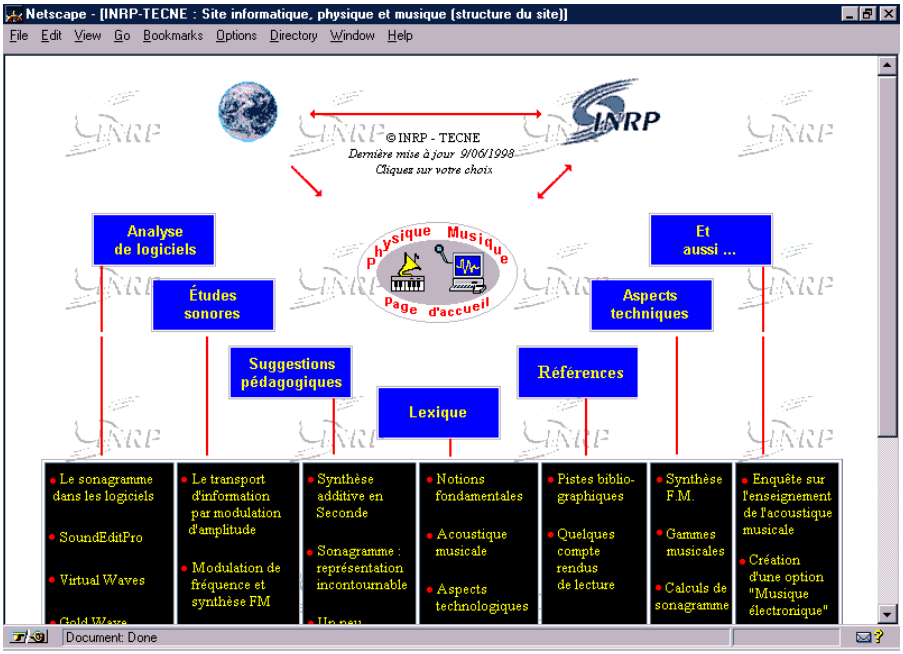
7 Un son n'est évidemment pas perçu de la même manière suivant qu'il est isolé ou qu'il appartient à une structure étendue.

8 Des exemples de progressions en physique de seconde ont fait l'objet d'expérimentation, voir [Serra et al., 1998].

9 Voir [Beaufils, 1997a et b].

V. UN SITE INTERNET « PHYSIQUE-MUSIQUE »

La présentation d'éléments relatifs à l'analyse de logiciels audio-numériques et à leurs utilisations pédagogiques fait appel à la fois à du texte, à des représentations graphiques et, à l'évidence, à du son ; un support multimédia est donc incontournable. De plus, ces informations étant destinées à un grand nombre d'enseignants et étant en constante évolution, le support de diffusion se devait d'être accessible à tous, d'un coût minimum, et évolutif ; un site Internet nous est donc apparu comme la solution la plus adaptée pour mettre à la disposition des enseignants les principaux résultats des travaux menés. Accessible sur le serveur INRP [10], le site est structuré autour de sept rubriques qui permettent de présenter en détail les résultats des travaux que nous avons évoqués ci-dessus, et d'offrir des ressources complémentaires sur les concepts et les instruments.



Structure du site INRP « Physique-Musique »

10 Accès direct : http://www.inrp.fr/Acces/JIPSP/phymus/accueil.htm ; sinon, à partir de http://www.inrp.fr, choisir Qu'est-ce-que l'INRP, puis Département Technologies nouvelles et Éducation.

5.1. Des analyses de logiciels

Sous cette rubrique, nous présentons quelques logiciels que nous avons explorés dans la recherche (SoundEditPro©, VirtualWaves©, CoolEdit©, AudioScuplt©, GoldWave©, SoundScope©, SoundForge©), en centrant notre analyse sur les fonctionnalités qui intéressent à la fois les enseignants de musique et les enseignants de physique et qui privilégient les outils d'analyse et de synthèse spectrale (analyses et représentations sonagraphiques, fonctions numériques, modulations, filtrages, etc.).

Parmi ces outils une place toute particulière a été accordée au sonagramme, qui figure également dans d'autres rubriques : *Calculs de sonagrammes* dans « Aspects techniques », *Exemple d'utilisation en classe* dans « Suggestions pédagogiques », et *Le sonagramme dans les logiciels* dans « Analyse des logiciels ». Une synthèse sonore à partir d'une image sonagraphique est également présentée : *Le phonogramme* dans « Et aussi... ».

5.2. Des études sonores

Sous cette rubrique, sont présentés quelques exemples d'analyse et de synthèse sonore exploitant les possibilités de calcul, de traitement et de représentation de différents logiciels accessibles au grand public. Ces exemples montrent les possibilités offertes par l'approche spectrale, tant du point de vue « technique » que du point de vue pédagogique : transport d'information par modulation d'amplitude - modulation de fréquence et synthèse F.M. - quelques outils pour la synthèse - exemples d'analyses et de resynthèses - modifications de timbre.

5.3. Des suggestions pédagogiques

Les propositions pédagogiques qui y sont présentées sont relatives à l'enseignement de sciences physiques ou d'éducation musicale, *depuis les classes de collège jusqu'à l'enseignement supérieur*. Certains exemples sont issus de réalisations pédagogiques auprès d'élèves, d'autres sont plus prospectifs : synthèse additive (niveau lycée) - utilisation du sonagramme (niveau lycée) - test de perception auprès des élèves (niveau collège et lycée) - à propos de hauteur, timbre, et intensité (niveau lycée) - à propos de signal périodique, alternatif, autre (niveau collège) - à propos des synthétiseurs.

5.4. Un lexique

Un *lexique de plus de 400 définitions a été réalisé en structure hypermédia* (liens hypertexte, illustrations graphiques et sonores). Nous avons séparé, pour en faciliter l'exploration, le vaste domaine de l'acoustique en cinq thèmes : notions fondamentales de physique et de physiologie, acoustique musicale, aspects technologiques, électronique et informatique musicale, divers.

Les définitions sont, pour la plupart, issues de dictionnaires ou d'ouvrages de référence. Lorsque la possibilité en a été offerte, nous avons donné la définition normalisée (AFNOR). Dans certains cas, nous attirons l'attention sur les confusions et les pièges associés à certaines définitions trop simples de certains ouvrages.

5.5. Des références bibliographiques

On y trouve d'une part, quelques notes de lecture dans laquelle des livres font l'objet d'un compte rendu de lecture et, d'autre part, des pistes bibliographiques. Une part importante des ressources offertes est dans cette bibliographie. Elle propose des ouvrages et des articles classés par grands thèmes : les références historiques du physicien, son et physique (aspect technique), son et physiologie, son et musique, musique et mathématiques, etc.

5.6. Des compléments techniques

Elle regroupe quelques aspects techniques qui nous ont paru nécessaires d'expliciter pour une meilleure compréhension des différentes pages de ce site : transformée de Fourier, analyse spectrale, gammes musicales, échantillonnage, quantification, structure des fichiers sonores, synthèse F.M., etc.

5.7. Une rubrique « Et aussi ... »

On y trouve des références à des outils intéressants du point de vue de la recherche, l'enquête auprès d'enseignants de physique et de musique à propos de l'enseignement de l'acoustique musicale, une réflexion sur les rapports entre la physique et la musique, et des informations diverses. Et c'est sous cette rubrique que l'utilisateur trouvera *des liens vers d'autres sites d'acoustique et musique* qui fournissent des informations sur des bibliographies, des logiciels, des matériels etc.

VI. CONCLUSION : L'INFORMATIQUE COMME VECTEUR D'UNE INTERACTION POSSIBLE ENTRE PHYSIQUE ET MUSIQUE

L'idée d'une interdisciplinarité doit sans doute être revue en terme de *complémentarité* où les instruments informatiques seraient plus les *moyens* d'une telle relation que des « objets d'interdisciplinarité ». De plus, cette complémentarité nous paraît devoir se jouer entre les enseignements de collège et de lycée : l'enseignement musical de la classe de troisième pourrait préparer les élèves à l'acoustique qu'ils rencontreront en physique en seconde. Dans ce cas, il conviendrait d'introduire les outils informatisés d'analyse et de traitement par filtrage (en référence aux led-mètres et aux équaliseurs) puis proposer des activités de modification de timbre, de changement de fréquence, etc.

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 en effet clair qu'une mise en relation 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. En particulier, il nous paraît nécessaire d'adapter l'enseignement d'informatique en Seconde [11] et surtout celui de l'option Informatique et électronique pour les sciences physiques (IESP) dans laquelle la chaîne micro / carte son / logiciel audionumérique peut naturellement être considérée comme une chaîne d'acquisition de mesures par capteur / CAN [12] / logiciel de traitement.

Jean-Claude LE TOUZÉ, Daniel BEAUFILS

INRP - Technologies nouvelles et éducation
91, rue Gabriel Péri - 92120 MONTROUGE

Mél : letouze@inrp.fr
beaufils@inrp.fr

11 Enseignement qui s'adresse en principe à tous les élèves et qui vise un usage raisonné de l'ordinateur dans les disciplines classiques.

12 Convertisseur analogique-numérique.

QUELQUES PUBLICATIONS

CAILLAUD B., 1994. L'analyse sonagraphique numérique dans l'enseignement de l'acoustique », in actes 6e *Journées Nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, UdP-INRP, 103-108.

BEAUFILS D., 1995. Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique/musique dans l'enseignement de lycée, *Bulletin de l'APEMU*, n° 150, 29-32.

VILCOSQUI M.-J., 1996. Musique/Informatique : une relation physique, *Revue de l'EPI*, décembre, p. 171-177.

ROCHEBOIS T., BEAUFILS D., CHARBONEAU G., 1997. Analyse et synthèse de sons, un support pour l'enseignement du traitement du signal, colloque sur *l'Enseignement des technologies et des sciences de l'information et des systèmes* (CETSYS), Université d'Orsay.

BEAUFILS D., 1997a. Modulation d'amplitude et modulation de fréquence ; les avantages du domaine sonore, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 793, 741-749.

BEAUFILS D., 1997b. Modulation de fréquence et synthèse F.M., *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 794, 929-945.

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.

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.

BEAUFILS D., CAILLAUD B. Analyse et synthèse spectrales pour l'étude des sons naturels et musicaux, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, à paraître.