

Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique/musique dans l'enseignement de lycée

Daniel Beaufiles, Jean-Claude Le Touzé

► **To cite this version:**

Daniel Beaufiles, Jean-Claude Le Touzé. Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique/musique dans l'enseignement de lycée. <http://www.inrp.fr>, 1998. edutice-00000411

HAL Id: edutice-00000411

<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000411>

Submitted on 17 Mar 2004

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.



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PEDAGOGIQUE
Technologies nouvelles et Éducation

juin 1998

Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique/musique dans l'enseignement de lycée (Code : 40120)

Rapport de synthèse

Daniel BEAUFILS Jean-Claude LE TOUZÉ

Le présent document constitue le rapport de synthèse de la recherche "Des outils informatiques comme objets d'une interdisciplinarité physique/musique dans l'enseignement de lycée" (code recherche : 40120) menée durant les années 1995-1998. Cette recherche a donné lieu à différentes publications dans des revues ou des colloques, et à l'élaboration d'un site Internet accessible par le serveur de l'INRP. Après une première partie rappelant la problématique, nous présentons les principaux résultats concernant les contenus enseignés, les outils et instruments informatisés, les activités d'élèves, la production de ressources sur Internet et enfin les publications du groupe.

Les potentialités d'une interdisciplinarité physique / musique

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 trouvées ainsi 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 physique des lycées font mention des relations transversales notamment entre physique et informatique et physique et musique et arts plastiques. Les contenus des programmes de sciences physiques 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 l'ordinateur et leur analyse spectrale, ou l'exploitation 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, au moyen de l'échantillonneur ou d'une carte de numérisation, ou sur du son de synthèse, et que des travaux scientifiques et créatifs pouvaient être menés en liaison avec le cours de physique, notamment en classe de seconde à propos de "l'analyse des bruits et des sons". Pour ce qui concerne les aspects matériels, le texte du B.O. de 1992 était particulier, puisqu'il indiquait de façon très explicite les nécessités 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, au niveau des contenus (centré sur les notions qui relèvent de l'analyse spectrale) et au niveau 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, telles que celles de l'IRCAM (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique / Musique), du GRM de l'INA (Groupe de Recherches Musicales de l'Institut National de l'Audiovisuel), du GAIV (Groupe Arts & Informatiques de Vincennes (Saint Denis), université Paris 8), etc.

La problématique

Ces potentialités suscitent l'enthousiasme de la part des collègues, mais également de nombreuses discussions et un certain nombre d'interrogations restaient manifestement sans réponses :

- 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 ?
- 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 ?
- 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 des analyses, des observations et des expérimentations, notamment sur les points suivants :

- 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.

Dans la suite, nous présentons les principaux résultats en les organisant sur trois pôles : les contenus enseignés, les outils/instruments informatisés et les activités d'élèves.

L'ensemble des résultats a conduit à la réalisation d'un site "Physique-Musique" présenté dans une partie suivante. Cette synthèse s'achève sur une réflexion sur la place et le rôle des activités dans le "domaine sonore" dans l'enseignement de physique et sur les réelles possibilités d'une interdisciplinarité avec l'éducation musicale.

A propos des contenus

En termes de savoirs à enseigner

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

Ainsi, si tous s'accordent sur l'intérêt d'aborder une notion telle que le "son musical", les musiciens n'y entendent pas le même contenu 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" qui recherche des lois et des constantes s'intéresse aux régimes stationnaires et aux aspects "fondamentaux" (fonctions sinusoïdales et décomposition en série de Fourier), tandis que le "musicien", pour qui la vie du son est essentielle (attaque, soutien, chute, relâchement), s'intéresse à l'évolution temporelle des partiels et utilisera plutôt l'analyse en ondelettes plus proche du grain sonore. 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), 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...

Dans notre recherche nous avons travaillé cette question sous deux angles : par une analyse des manuels scolaires de sciences physiques de la classe de seconde, et par une enquête auprès des enseignants de physique et d'éducation musicale.

La première analyse a fait ressortir les difficultés d'une présentation "scientifique" des notions de hauteur, timbre, intensité. Parce que ces notions 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.* Ce point a fait l'objet d'une communication aux *Huitièmes Journées Informatique et pédagogie des sciences physiques*, et est détaillé dans le lexique et la rubrique "Suggestions pédagogiques" du site *Physique-Musique*.

Parallèlement, l'enquête auprès des enseignants a porté sur la définition des notions telles que hauteur, timbre, consonance, harmonique, décibel, etc., et sur leur appartenance à l'une ou l'autre des deux disciplines. La divergence globale entre "physicien" et "musicien" sur un certain nombre de définitions vient confirmer les difficultés évoquées ci-dessus. Ainsi, seules deux définitions (concernant le "Domaine de fréquences audibles" et le "Décibel") suscitent un accord, tandis que *les définitions de termes comme "bruit", "harmonique", "hauteur", "intensité" et "son fondamental" sont source d'un net désaccord.*

Pour ce qui concerne la question de l'appartenance disciplinaire, les réponses ne font apparaître un consensus entre "physiciens" et "musiciens" que sur quelques notions : "amplitude", "décibel", "fréquence", "modulation d'amplitude" et "modulation de fréquence" relèvent de la physique, tandis que "consonance" relève de la musique. Il ressort alors que les notions de "hauteur", "harmonique", "intensité" et "timbre" n'appartiennent pas à une discipline en particulier. Le détail des réponses et de leur analyse figure sous la rubrique "Enquête sur l'enseignement de l'acoustique musicale" du site *Physique-Musique*. Ces éléments auraient pu être le lieu d'une connexion des disciplines si, comme nous l'avons indiqué, derrière les mots ne se trouvait pas des concepts différents.

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 test, centré sur la perception. Il a été proposé à 170 élèves de Troisième (dans le cadre du cours d'éducation musicale) et à 104 élèves de la classe de Seconde (dans le cadre du cours de sciences physiques). Fondé sur l'écoute et la comparaison de courts sons, il visait l'estimation des capacités des élèves à reconnaître ou à différencier "hauteurs", "intensités", "articulation timbre-hauteur", "son pur et son complexe" et "perception d'une ou deux notes".

À un premier niveau on constate qu'une large majorité des élèves associent correctement fréquence et hauteur, reconnaissent une différence de hauteur, une différence d'intensité, pensent que le son de la flûte est un son pur, et sont sensibles à la consonance/dissonance. Mais, en approfondissant un peu, on peut remarquer que certains élèves font des associations fréquence/hauteur "inversées", que *la reconnaissance de la hauteur est (naturellement) perturbée par une variation de timbre* et que la perception d'un ou deux sons n'est pas garantie, etc. Le détail de ce test et de l'analyse des réponses figure sous la rubrique "Suggestions pédagogiques" du site.

Ces observations sont particulièrement importantes puisqu'elles viennent *mettre en question un grand nombre d'activités proposées dans les manuels scolaires de physique de Seconde et dans les fiches travaux-pratiques disponibles sur certains sites Internet académiques.*

A propos des outils/ instruments

Notre hypothèse d'interdisciplinarité repose sur l'existence d'outils informatiques communs ; or, ces outils 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 sonores). Nous avons ainsi analysé et expérimenté différents logiciels, notamment : SoundEditPro (© MacroMind), Virtual Waves (© Synoptic), Cool Edit (© David Johnston), AudioSculpt (© IRCAM), GoldWave (© Chris Craig), SoundScope (© Dipsi-industrie), SoundForge (© Sonic Foundry). Leur présentation et leur utilisation en référence à notre approche "spectrale" font l'objet de deux rubriques du site *Physique-Musique* : "Analyse de logiciels" et "Étude sonores".

Pourtant, leur usage commun 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 l'enquête menée auprès des enseignants, il ressort, d'une part, que les "physiciens" utilisent préférentiellement des logiciels dédiés à l'enseignement de la physique (et donc limités dans leurs fonctionnalités et à l'utilisation d'interfaces spécifiques), et, 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 (voir "Enquête sur l'enseignement de l'acoustique musicale" du site *Physique-Musique*).

Enfin, il est apparu que, dans un certain nombre de cas, les paramètres ou modules simples nécessaires à l'explication du principe de tel ou tel calcul, à la démonstration de telle ou telle méthode, ne sont pas accessibles. La question de la formation des enseignants a ainsi été abordée : des compléments d'information ont été mis à disposition sous la rubrique "Aspects techniques" du site, des fonctionnalités logicielles ont été conçues et intégrées dans des logiciels commercialisés (voir Phonogramme© et VirtualWaves© dans le site) et un contenu d'université d'été a été élaboré.

L'analyse spectrale : le sonagramme

Nous avons indiqué l'importance des outils d'analyse et de représentation spectrale. Parmi ces outils figure le sonagramme, bien connu des acousticiens. Or, curieusement, malgré les références d'utilisations scientifiques (nombreuses en acoustique, qu'elle soit 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 à priori trop complexe par l'enseignant de physique et reste pratiquement inconnue des enseignants d'éducation musicale...

Tant par les avantages sur le plan de l'analyse scientifique (l'image "sonographique" étant numérique et calculée, toutes les valeurs des dates, fréquences et amplitudes sont accessibles immédiatement), que sur le plan didactique (la représentation des hauteurs et des durées est particulièrement "naturelle"), *le sonagramme nous est apparu comme l'outil à privilégier*. De plus, l'image, elle-même, peut être traitée (filtrage, seuillage) et servir à resynthétiser des sons.

La présentation de cet outil d'analyse figure dans plusieurs rubriques sur le site : calculs de sonagrammes dans "Aspects techniques", exemple d'utilisation en classe dans "Suggestions pédagogiques", et le sonagramme dans les logiciels dans "Analyse de logiciels". La synthèse sonore à partir d'une image sonographique est illustrée par le logiciel Phonogramme© cité précédemment.

A propos des activités

La complémentarité physique-musique

Bien évidemment, compte tenu des remarques sur les points de vue divergents des "physiciens" et des "musiciens", il semble difficile d'envisager des activités comparables. 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, l'objet sonore est pris en tant qu'objet, que son isolé : écoute et analyse d'un son de percussion, de corde pincée, d'un chant d'oiseau, d'un bruit d'eau, de bruits divers, 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 l'extension horizontale (mélodie), et les activités sont clairement tournées vers cette mise en relation d'un ensemble d'éléments isolés et d'un agencement musical : un son n'est pas perçu de la même manière suivant qu'il est isolé ou qu'il appartient à une structure étendue.

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. Le premier registre concerne évidemment la physique et permet de recentrer le cours sur la synthèse spectrale ; ainsi, la démarche générale n'est plus d'introduire l'analyse spectrale pour justifier ensuite la synthèse additive, mais l'inverse : on montre d'abord avec la synthèse additive que l'on peut obtenir des sons "normaux". De plus, cette séparation met 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.

En classe de seconde

Dans le cadre de notre recherche, nous avons expérimenté nos idées d'utilisation de logiciels audionumériques dans le cadre du cours d'acoustique musicale de la classe de seconde. L'une des progressions reposait sur le schéma suivant :

- Séance 1, "largeur spectrale" : l'objectif est d'introduire qualitativement l'importance du domaine spectral ; l'activité support est l'écoute, d'un même enregistrement (son, extrait musical), à travers différents reconstituteurs (de l'enceinte Hi-fi au haut-parleur bas de gamme).
- Séance 2, la synthèse de "sons naturels" : l'objectif est de montrer la présence de plusieurs fréquences et d'une évolution dans le temps. L'activité support est la synthèse additive.

- Séance 3, les "sons d'instruments" : l'objectif est de comprendre l'origine des différences de timbre ; l'activité support est l'analyse sonographique de notes jouées sur des instruments différents.

Cette progression a fait l'objet d'une communication aux *Huitièmes Journées Informatique et pédagogie des sciences physiques*, et est détaillé dans "Synthèse additive en Seconde" de la rubrique "Suggestions pédagogiques" du site *Physique-Musique*

Du côté de l'éducation musicale, l'une des activités s'inscrit dans le registre musical. Il s'agit d'une création (dans le cadre d'un projet de fin d'année, par exemple) où le sujet nécessite l'utilisation de moyens d'analyse et de synthèse spectrale. La tâche de composition musicale peut être donnée avec une contrainte sur les outils (outils d'analyse et de synthèse spectrales tels que sonagramme, modulation d'amplitude et de fréquence, synthèse croisée, filtres) ou sur le thème. L'autre type d'activités s'inscrit dans le registre timbral. Le travail n'est alors pas celui d'une composition musicale, mais celui *d'études*, à la manière de P. Schaeffer par exemple. Il s'agit donc de la référence à une époque où les activités foisonnantes sont a priori transposables en des activités de découvertes techniques et sonores dans le cadre de l'éducation musicale. Ainsi, il est possible d'envisager une activité à partir de l'enregistrement de son concret conduisant à une production sonore courte, dans laquelle le matériau sonore d'origine ne devra pas être reconnu (acousmatique).

Des essais dans ce sens sont présentés sous la rubrique "Études sonores" du site *Physique-Musique*. Les activités en classe de musique n'ont toutefois pas pu être expérimentées.

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 dans des domaines autres que l'acoustique et à des niveaux d'enseignement différents de la classe de Seconde.

En classe Terminale (spécialité), ils offrent une opportunité pour illustrer le principe et les utilisations des *modulations d'amplitude et de fréquence*. Un exemple montrant la modulation d'un signal sinusoïdal par un son, capté par un micro et numérisé, est présenté sous la rubrique "Études sonores" du site. Son intérêt se situe sur deux plans. Le premier est celui de la perception auditive : le choix d'une "porteuse" à 5000 Hz, par exemple, permet de générer un signal modulé entièrement perceptible. Le second se situe dans la visualisation de l'information : celle-ci, inscrite dans le contenu fréquentiel du signal modulant, est rendue visible par une représentation sonographique.

Un autre exemple présenté sous la même rubrique illustre la modulation de fréquence. L'intérêt réside dans 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 !).

En classe de Troisième, le programme de physique comporte le thème "Électricité et vie quotidienne" dans lequel une première partie est consacrée aux signaux alternatifs et sinusoïdaux : visualisation à l'oscilloscope, période, fréquence, valeur maximale. Le domaine audio est évidemment particulièrement adapté à l'exploration de ce domaine : outre le fait que le domaine de la production sonore fait partie de la vie quotidienne, les logiciels permettent de *manipuler facilement des signaux sinusoïdaux, triangulaires, etc.*, d'étudier les formes correspondantes dans les fenêtres "oscillo" et d'en faire *percevoir les différences*. Des indications en ce sens figurent sous la rubrique "Suggestions pédagogiques" du site *Physique-Musique*.

Le site internet "physique-musique"

Les éléments ci-dessus font référence non par à un ouvrage, mais à un site Internet. En effet, la présentation d'éléments relatifs à l'analyse de logiciels audionumériques (traitement, analyse spectrale, synthèse, etc.) 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.

Ce site accessible sur le serveur INRP¹ est structuré autour de sept rubriques principales accessibles à partir de la page d'accueil : "Analyse de logiciels", "Études sonores", "Suggestions pédagogiques", "Lexique", "Références", "Aspects techniques", "Et aussi...". On y trouve, en plus, une page concernant l'historique du site qui précise les modifications successivement apportées et une page présentant la structure générale du site permettant ainsi d'accéder directement à n'importe quelle page.

Outre la dimension hypermédia que nous avons soulignée ci-dessus, la consultation de ce site permet aux utilisateurs de télécharger des exemples de sons, de représentations sonographiques, des modules de synthèse ou de traitement exploitables avec différents logiciels, des programmes prototypes.

La rubrique "Analyse de logiciels"

Sous cette rubrique, nous présentons quelques logiciels, que nous avons explorés dans la recherche (SoundEditPro®, Virtual Waves®, Cool Edit®, AudioSculpt®, GoldWave®, SoundScope®, SoundForge®), en centrant essentiellement les éléments d'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 sonographiques, fonctions numériques, modulations, filtrages, etc.).

Parmi les outils d'analyse et de représentation spectrale, une place toute particulière a été accordée au sonagramme. C'est pourquoi la présentation de cet outil d'analyse figure dans plusieurs rubriques du site : *calculs de sonagrammes* dans "Aspects techniques", *exemple d'utilisation en classe* dans "Suggestions pédagogiques", et *le sonagramme dans les logiciels* dans "Analyse des logiciels". La synthèse sonore à partir d'une image sonographique est également présentée dans "Et aussi...".

La rubrique "Études sonores"

Dans cette partie 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" (modulation de fréquence, filtrage, sonagramme) que du point de vue pédagogique (principe de la synthèse harmonique, etc.). Cette rubrique, qui comme les autres est appelée à se développer, contient actuellement les études suivantes : le transport d'information par modulation d'amplitude - la modulation de fréquence et la synthèse F.M. - la présentation de quelques outils pour la synthèse - des exemples d'analyses et de resynthèses - une étude sur des modifications de timbre.

¹ 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 Education.

La rubrique "Suggestions pédagogiques"

Dans cette partie nous présentons quelques suggestions pédagogiques 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 des propositions plus prospectives. On y trouve : la synthèse additive (niveau lycée) - l'utilisation du sonagramme (niveau lycée) - un 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.

La rubrique "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 rubriques : 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, que l'on peut trouver dans certains ouvrages (dont les manuels scolaires).

La rubrique "Références"

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.

La rubrique "Aspects techniques"

Elle regroupe quelques aspects techniques qui nous ont paru nécessaire d'explicitier 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.

La rubrique "Et aussi ..."

On peut y trouver non seulement *des liens vers d'autres sites d'acoustique et musique*, qui fournissent des informations sur des bibliographies, des logiciels, des matériels etc., mais aussi 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.

Conclusion : l'informatique comme vecteur d'une interaction possible entre physique et musique

Nos travaux ont mis en lumière à la fois les *potentialités d'une interdisciplinarité* et sa *difficile instauration*. Outre le fait que les lycées ne disposent pas généralement d'un enseignement de musique, il semble bien que les raisons soient plus fondamentales : les outils d'analyse et de synthèse spectrale ne sont guère adaptés à la création musicale et les logiciels potentiellement utilisables en physique semblent rester "étrangers" à l'enseignant de sciences.

L'idée d'une interdisciplinarité doit sans doute être revue en terme de *complémentarité* et les instruments informatiques seraient plus les *moyens* d'une telle relation que des "objets

d'interdisciplinarité". De plus, cette complémentarité nous paraît aujourd'hui devoir se jouer entre les enseignements de collège et de lycée : l'enseignement musical de la classe de Troisième pourrait préparer les élèves qui entendront parler d'acoustique musicale en classe de Seconde en physique. Dans ce cas il conviendrait d'introduire les outils informatisés d'analyse et de traitement par filtrage (en référence aux led-mètres et aux égaliseurs) puis proposer des activités de modification de timbre, de changement de fréquence, etc. La question reste alors de savoir jusqu'où on peut aller (et avec quelle approche et quels moyens) en éducation musicale de Troisième.

Pour ce qui concerne les programmes actuels de lycée, on peut d'une part regretter que le texte de 1992 relatif à l'éducation musicale n'ait jamais été mis en place, et d'autre part souligner un certain rejet de la partie acoustique musicale par les enseignants de sciences physiques. Bien que notre étude nous a conduits à montrer que *ce programme repose sur des "hypothèses" scientifiques et didactiques inopportunes* (un son musical n'est pas périodique, la hauteur musicale n'est pas définie pour un son sinusoïdal, tous les élèves n'ont pas une oreille musicale qui leur permette de distinguer effet de timbre, de hauteur et d'intensité, etc.) il nous semble que ce domaine potentiellement riche ne doit pas être supprimé. Un *aménagement des programmes de physique au niveau de certains libellés*, une mise en place dès le collège d'un certain nombre d'*apprentissages articulés sur musique et physique*, ainsi qu'un minimum de *formation/information des enseignants* des deux disciplines sur certains points délicats, seraient à envisager en première instance.

Equipe de recherche

Chercheurs INRP-TECNE

BEAUFILS Daniel (chercheur, INRP-TECNE, responsable)

LE TOUZÉ Jean-Claude (chercheur, INRP-TECNE, co-responsable)

Enseignants associés

BENZ Henri (enseignant de musique, IUFM, académie d'Aix-Marseille)

CAILLAUD Bernard (professeur de physique, académie de Caen)

CAUBISENS Paul (enseignant de musique, IUFM, académie de Toulouse)

FAVRE-NICOLIN Raymond (professeur de physique, académie de Grenoble)

MAESTRACCI Vincent (professeur de musique, académie de Paris)

SERRA Gérard (professeur de physique, académie d'Aix-Marseille)

TRIOULAIRE Alain (professeur de physique, académie de Besançon)

VILCOSQUI Marcel-Jean (professeur de musique, académie de Versailles)

Et la participation de

BIANCHERI Armand (Inspecteur Général de l'Éducation nationale)

RIOUX Vincent (étudiant DEA- IRCAM)

Publications et production

SITE "PHYSIQUE-MUSIQUE ". Conception : LE TOUZÉ J.C.

- 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 Education*

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.

BEAUFILS D., GRENTE M., 1995. À propos d'acoustique musicale : la question des gammes, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°775, 1107-1122.

- VILCOSQUI M.-J., 1996. Musique/Informatique : une relation physique, *Bulletin 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., 1997. Modulation d'amplitude et modulation de fréquence ; les avantages du domaine sonore, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°793, 741-749.
- BEAUFILS D., 1997. 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.
- ROCHEBOIS T., BEAUFILS D., 1998. L'histoire des synthétiseurs de musique : plus d'un siècle d'évolutions technologiques, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°803.
- BEAUFILS D., CAILLAUD B. Analyse et Synthèse spectrales pour l'étude des sons naturels et musicaux, proposé pour publication au *Bulletin de l'Union des Physiciens*.