



Comprendre les caractéristiques des sons en associant concerts scientifiques et dossier pédagogique en ligne

B Gazengel, T Galpin, R Lalanne, I Silpa

► To cite this version:

B Gazengel, T Galpin, R Lalanne, I Silpa. Comprendre les caractéristiques des sons en associant concerts scientifiques et dossier pédagogique en ligne. Congrès Français d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. hal-03644469

HAL Id: hal-03644469

<https://hal.science/hal-03644469>

Submitted on 19 Apr 2022

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.



16^{ème} Congrès Français d'Acoustique
11-15 Avril 2022, Marseille

Comprendre les caractéristiques des sons en associant concerts scientifiques et dossier pédagogique en ligne

B. Gazengel ^a, T. Galpin ^b, R. Lalanne ^b, I. Silpa ^c

^a LAUM, UMR 6613, Institut d'Acoustique - Graduate School (IA-GS), CNRS, Le Mans Université, France,

^b Pôle de Ressources Numériques, Université du Mans, av. Olivier Messiaen, 72085 Le Mans Cedex 9, France

^c Pôle de Culture Scientifique, Université du Mans, av. Olivier Messiaen, 72085 Le Mans Cedex 9, France



Depuis une dizaine d'années, les concerts scientifiques d'Ophonius permettent de disséminer certaines notions d'acoustique (caractéristiques d'un son, principe de fonctionnement des instruments de musique) vers le grand public et les scolaires grâce à des soutiens financiers émanant de projets portés par le pôle Culture Scientifique de l'Université du Mans (FEDER, ...) . A l'origine, les concerts étaient donnés dans le cadre de manifestations scientifiques qui proposaient des outils pédagogiques en ligne. Ces outils étaient très appréciés des enseignants de lycée pour venir en complément de leurs cours, ce qui a motivé la mise en place d'un dossier pédagogique en ligne spécifique aux concerts scientifiques. Ce dossier pédagogique présentant les trois principales caractéristiques d'un son a été développé sous forme d'un site internet en collaboration avec le pôle de ressources numériques de l'Université du Mans. Cette présentation se concentrera sur la méthode utilisée pour créer le dossier pédagogique et montrera les allers retours nécessaires entre l'approche pédagogique usuelle de l'acousticien (équations, graphes) et la scénarisation des concepts pour un public lycéen (outils multimédia, graphisme).

1 Introduction

L'enseignement de l'acoustique peut être réalisé de façon conventionnelle (par exemple [1]), grâce à une pédagogie par projets [2], [3] peut utiliser les outils numériques pour diffuser des connaissances librement [4], [5] ou peut être réalisé dans le cadre de projets arts et sciences comme par exemple les concerts scientifiques [6].

Les concerts scientifiques ont été proposés à différents publics (enseignants, élèves de lycées, grand public dans le cadre de manifestations scientifiques) et portent sur deux aspects, les caractéristiques d'un son et la physique des instruments de musique. Au cours des différents concerts scientifiques réalisés entre 2009 et 2020 sur les caractéristiques d'un son est identifié le besoin de proposer un portail permettant le partage de ressources et d'activités liées aux connaissances transmises lors de ces concerts. Cette demande émane régulièrement de quelques enseignants souhaitant compléter le concert scientifique par un travail en classe, l'objectif étant de faciliter et de poursuivre la compréhension des phénomènes acoustiques. Ce portail [7] est mis à la disposition des enseignants de sciences physiques de lycées et de leurs élèves, sous la forme d'un dossier pédagogique constitué de ressources vidéos, de simulations, d'apports théoriques vulgarisés et de tests de positionnement, ces ressources venant enrichir et compléter les propres cours des utilisateurs. Le contenu proposé porte sur les caractéristiques d'un son, l'intensité, la hauteur et le timbre, celles-ci permettant d'aborder les notions de décibels, de période, de fréquence et de spectre (incluant les notions de signal harmonique et de bruit).

Dans un premier temps, le contenu détaillé et la forme utilisée du dossier pédagogique sont présentées. La deuxième partie présente l'organisation mise en place pour réaliser ce projet. Enfin, nous abordons la communication mise en œuvre pour tenter d'approcher les enseignants, élèves et étudiants.

2 Présentation du dossier

2.1 Contenu pédagogique

Le dossier pédagogique présente les trois notions abordées au cours du concert scientifique : intensité, hauteur, timbre. La notion de propagation du son est également

proposée.

Pour chaque partie présentée ci-dessous, la structure est identique :

- découverte de la notion par une phrase d'accroche et une série de sons permettant de découvrir cette notion par la perception,
- proposition de contenus explicatifs, descriptifs (textes, vidéos, animations),
- boîte à outils résumant les notions importantes,
- page proposant des exercices de mises en applications commentées et corrigées,
- test de positionnement final (QCM).

2.1.1 Intensité sonore

L'objectif de cette partie est de présenter les notions de pression acoustique, de niveau sonore et de sensibiliser aux risques auditifs. Dans un premier temps la notion de pression acoustique est définie et les amplitudes usuelles sont comparées à la valeur de la pression atmosphérique. Les niveaux sonores sont introduits et l'extrait vidéo d'un concert scientifique montre une expérience réalisée en salle avec un sonomètre dans différentes conditions (bruit de fond, ..., niveau mesuré aux oreilles d'un batteur). Ceci permet de bien comprendre la relation entre perception et mesure objective. L'effet de l'ajout de sources sonores est abordé pour montrer que "les déciBels ne s'ajoutent pas". Des notions complémentaires sont présentées pour introduire la dose sonore et le déciBel A. Finalement l'effet des niveaux et des durées d'exposition trop élevés sur l'oreille interne est illustré. Une boîte à outils rappelle les notions les plus importantes, quelques exercices (avec correction) sont proposés et un test final comportant 10 questions permet à chaque usager d'évaluer ses compétences.

2.1.2 Hauteur

L'objectif de cette partie est de rendre accessibles les notions de période et fréquence à un public non scientifique. En complément les notions d'intervalles musicaux sont abordées.

Le chapitre commence par l'écoute de sons (signaux sinusoïdaux) de hauteurs différentes et quelques exemples sonores ne pouvant pas être chantés à l'aide d'une voyelle

sont également proposés pour introduire la notion de signal large bande dans la suite du dossier. La notion de son pur est illustrée à l'aide du diapason (animation et vidéo) et permet d'introduire les notions de période et de fréquence. La relation fréquence – hauteur, la gamme de fréquences perceptibles par l'oreille humaine et les notions d'ultra sons et d'infra sons sont abordées à l'aide d'un extrait vidéo issu des concerts scientifiques. Finalement la relation entre hauteur d'une note musicale et fréquence est proposée dans deux vidéos. Une boîte à outils rappelle les notions importantes et quelques exercices sont proposés pour faire le lien entre représentation graphique et son (figure 1) et pour analyser des signaux simples.

Son pur

Question : lequel de ces trois sons (figure ci-dessous) est un son pur?

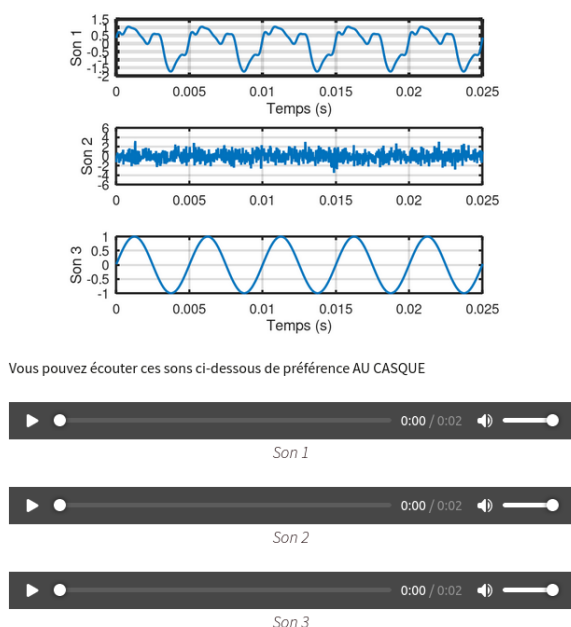


FIGURE 1 – Exemple d'exercice proposé pour faire le lien entre perception et représentation graphique.

Finalement un test (QCM) de 10 questions portant sur les notions de période, fréquence, hauteur, échelle de fréquences, gammes musicale est proposé. Un exemple de question proposée dans ce test est présenté à la figure 2.

2.1.3 Timbre

L'objectif de cette partie est d'aborder la représentation du son sous forme d'un spectre avec des ressources graphiques et sonores. Quelques extraits sonores illustrent également l'importance des transitoires. Le chapitre commence par l'écoute de sons musicaux issus de la base de données de la philharmonie de Londres [8].

Un extrait vidéo des concerts scientifiques donne la définition du timbre, montre la représentation de sons purs sous forme de spectre (diapason, verre d'eau). Cet extrait

5. Sons très aigus

Les sons ayant une fréquence supérieure à 20 kHz sont appelés :



- ☐ ultrasons
- ☐ infrasons
- ☐ sons complexes
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ sons purs

[Indice](#)

FIGURE 2 – Exemple de question proposée dans le test final du chapitre hauteur.

montre également l'analyse spectrale de deux instruments de musique en temps réel (flûte traversière et saxophone alto) et permet de présenter les notions de fréquence fondamentale et d'harmoniques. Finalement une analyse de bruits (balais de batterie, applaudissements) est réalisée et permet d'expliquer pourquoi ces sons ne peuvent pas être imités en chantant une voyelle (cf. 2.1.2).

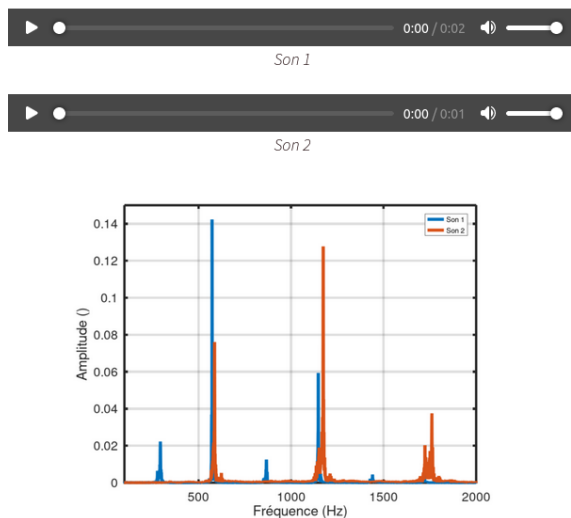
A ce stade du dossier une ressource vidéo issue d'un MOOC [9] permet de présenter la notion de timbre sous une forme plus scientifique. Une page est proposée pour différencier les bruits des sons périodiques, identifier à l'écoute et par analyse spectrale les sons à harmoniques pairs ou impairs et pour comprendre l'effet des transitoires sur le timbre (jeu de sons à l'envers). Une boîte à outils rappelle les notions importantes à l'aide de représentations graphiques (signaux temporels, spectres) et de signaux audio, différents exercices avec solution sont proposés (figure 3) et finalement un test final (QCM) de 10 questions permet aux personnes parcourant le dossier de s'auto-évaluer.

2.1.4 Propagation

L'objectif de cette partie est de permettre l'appropriation de notion d'onde et des effets induits par les milieux de propagation. Elle est moins développée que les parties précédentes mais elle permet d'introduire les notions suivantes : qu'est ce qu'une onde ? comment se propage une onde ? (différence entre onde et transport de matière), le son se propage-t-il dans le vide ? (besoin d'un milieu), qu'est ce que la vitesse de propagation ?

Une boîte à outils rappelle les équations utiles (longueur d'onde, temps de propagation) et des exercices sont proposés, comme par exemple celui de la figure 4 qui utilise une animation réalisée par le PRN (cf. §3.1). Un test (QCM) est également proposé en s'appuyant sur différentes ressources, par exemple [9].

Question : quel est approximativement l'intervalle entre les deux sons dont les spectres sont donnés à la figure ci-dessous? Vous pouvez les écouter pour vous aider à répondre.

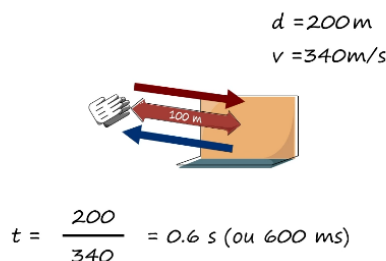


Réponse : environ une octave (la fréquence fondamentale du son 2 est quasi identique à la fréquence de l'harmonique 2 du son 1).

FIGURE 3 – Exemple d'exercice sur la notion d'octave utilisant la représentation graphique sous forme de spectre.

Echo sur un mur

Question : après combien de temps un claquement de mains émis à 100 mètres d'un mur est-il entendu par l'effet de réflexion du son sur le mur?



Réponse : le son parcourt 2 fois la distance (200 mètres) à la vitesse de 340 m/s. Il met donc $t = \frac{200}{340}$, c'est à dire environ 0,6 secondes (ou 600 ms).

FIGURE 4 – Exemple d'exercice sur le temps de propagation d'une onde.

2.2 Forme du dossier

Au début de la phase de construction, le format a été très académique et de forme rédactionnelle comme peut l'être un cours classique dispensé en présentiel ou en ligne de façon très transmissive.

Pour rendre le dossier plus attractif pour des lycées, nous avons choisi d'illustrer plutôt que d'écrire lorsque cela est possible et avons associé le concepteur d'animations ("motion designer") du pôle intégration multimédia de

LMU (Le Mans Université) à notre projet. Il propose des illustrations et des animations originales pour nourrir les propos. Nous avons cherché à scénariser le plus possible les contenus et à valoriser les titres de chapitres en les simplifiant et en les rendant plus accessibles pour notre public. Une longue période de veille sur les ressources existantes a permis de recueillir des supports variés. L'étape suivante a été d'en faire des synthèses, de les organiser, d'en rédiger de petites introductions motivantes. Les tests de positionnement ont été enrichis de retours ("feedback") et commentaires pour faciliter en particulier l'apprentissage des lycéens.

A ce jour, de nouvelles ressources (courtes vidéos d'introduction) sont conçues et réalisées grâce à l'appui du pôle audiovisuel de LMU pour rendre chacune des thématiques plus accessibles aux non spécialistes. La démarche de conception consiste à rédiger avec les personnels du PRN les scénarios de vulgarisation, à valider leurs propositions de "storyboards" (enchaînement des textes, animations, informations complémentaires) qui s'enrichissent d'informations techniques de mise en scène. Une fois la conception validée par le groupe de travail, les personnels du PRN se chargent des captations et en sont les acteurs.

2.3 Support utilisé

2.3.1 Contraintes

Le dossier pédagogique doit pouvoir être accessible en ligne, à un public varié et externe à l'université. Après une brève réflexion sur le potentiel d'utilisation d'une plateforme pédagogique de type Moodle [10], c'est finalement un site internet qui héberge le dossier pédagogique.

Les fonctionnalités essentielles mises en évidence par notre analyse des besoins sont le partage de ressources, la réalisation de tests en ligne et le non recueil de données de connexion. L'accès hors authentification à notre plateforme pédagogique Moodle ne permet pas la réalisation de tests, elle permet seulement la consultation de ressources. L'authentification de connexion pour des utilisateurs externes à notre université est complexe à gérer par notre Direction des Systèmes d'Information, et n'a de plus pas d'intérêt autre que la réalisation des tests, puisque nous ne souhaitons pas utiliser les données de connexion. Le choix de plate-forme est abandonné au profit d'un site Web (CMS).

2.3.2 Outil mis en place

Nous avons sollicité les services de communication de l'université expert en site de type Ametys et le service informatique expert en site de type WordPress. L'un comme l'autre soulèvent les problèmes d'hébergement, de suivi et de mises à jour du site. N'ayant en début de projet pas de visibilité sur le nombre potentiel d'utilisateurs, nous sommes invités à œuvrer dans un premier temps sur nos propres outils. Les concerts scientifiques Ophonius possédant déjà un site "Wordpress", nous initions notre phase de développement sur celui-ci [7].

Avec l'appui du pôle développement, une sélection de

"plug-in" gratuits est faite puis testée. Des outils de contrôle du nombre de connexions et d'anti-piratage sont installés. A ce stade nous prenons connaissance des problèmes (importants) de sécurité internet qui sont fort éloignés des préoccupations d'enseignant-chercheurs en acoustique.

2.4 Évaluation

De façon à évaluer l'intérêt du dossier pour les élèves, étudiants et enseignants, une enquête est proposée aux usagers. Par ailleurs, des échanges informels avec les enseignants de lycée nous permettent également de savoir si le dossier est adapté aux élèves. A ce jour très peu de réponses ont été recueillies. Néanmoins, les avis émis par des étudiants et enseignants nous montrent que :

- le contenu est considéré comme un peu trop ambitieux par les étudiants de 1^{ère} année de Licence,
- le contenu est considéré comme trop peu avancé par les enseignants d'Université,
- le contenu est considéré comme beaucoup trop théorique (trop de formalisme) par les enseignants de lycée.

Ce résultat provisoire est intéressant car il montre les fortes différences de points de vue et d'attentes en fonction des publics.

Des évaluations complémentaires devront être régulièrement réalisées pour ajuster les contenus aux publics.

3 Organisation

3.1 Acteurs du projet

Ce projet est réalisé en collaboration entre plusieurs personnels de Le Mans Université impliqués dans différents services : Département d'Acoustique de l'Université du Mans (DAUM), Pôle de Ressources Numériques (PRN) dont la mission est l'accompagnement des enseignants dans la mise en place de leurs projets pédagogiques innovants y compris pour l'enseignement à distance, Pôle de Culture Scientifique, service communication et Direction des Systèmes d'Information (DSI). Les rôles de chacun de ces acteurs sont les suivants :

- DAUM (Département d'Acoustique de l'Université du Mans) : apporter et choisir des connaissances en acoustique répondant aux objectifs fixés pour répondre à la demande des enseignants de lycées.
- PRN (Pôle de Ressources Numériques) :
 - regard critique et propositions d'évolution dans la forme des contenus proposés
 - gestion et animation du projet, communication entre les différents acteurs
 - soutien technique pour les animations et le graphisme.
- Pôle de Culture Scientifique : faire le lien entre

l'université et les enseignants.

- Services communication et DSI : regard critique et expertise en site web.

3.2 Méthode de travail

Tant que possible, nous organisons une réunion hebdomadaire pour suivre nos différents points d'étapes et travaillons en binôme enrichi : enseignant chercheur / ingénieur pédagogique et ressources humaines du pôle de Ressources Numériques. Les actions réalisées au cours de ces échanges sont les suivantes :

- À l'échelle macroscopique : " identité du site "
 - habillage et ergonomie,
 - partenariat de communication.
- À l'échelle microscopique : "re-structuration de la connaissance" : accroche pour les lycéens
 - Fil conducteur : BD, Illustration animée ... ,
 - Gestion du temps par activité / par chapitres,
 - Relecture / vérification des contenus,
 - Tri des ressources puis création de nouvelles ressources.

4 Communication vers les usagers

L'objectif étant d'ouvrir à un large public ce dossier pédagogique, une action de communication vers différents publics est indispensable. Cependant les compétences nécessaires sont très éloignées des compétences des enseignants de l'université. Nous prenons donc contact avec les référents des projets PIA (Programme d'investissements Avenir) ayant des actions en lycées (Thélème [11], Etoile [12]) de façon à faire connaître cet outil. Par ailleurs, grâce au Pôle de Culture Scientifique de LMU et aux réseaux qu'il a pu construire dans le cadre de différents projets, nous prenons contact avec les référents pédagogiques de sciences de la région, le réseau canopé [13], le pôle sciences société de la région.

Enfin une communication est réalisée auprès des neuf CFMI (Centre de Formation des Musiciens Intervenant) préparant des étudiants au DUMI (Diplôme Universitaire de Musicien Intervenant) [14]. A ce jour, une réponse intéressée nous est parvenue.

5 Conclusion

Ce projet permet d'ouvrir à un large public les bases de l'acoustique. De façon à s'adapter à ce public (élèves et enseignants de lycées), les notions proposées (intensité d'un son, hauteur, timbre, propagation du son) ont été vulgarisées grâce à un travail collaboratif entre différents personnels (enseignants, ingénieur pédagogique, graphistes, informaticiens). Le canal de communication (site web) a été choisi pour ne pas rencontrer de freins techniques pour les

usagers. Les difficultés principales ont été les suivantes : d'un point de vue du contenu, l'évaluation du niveau scientifique à diffuser (jusqu'où faut-il aller ?) et la forme à proposer (équations, graphiques, extraits audio, vidéo) reste très dépendante de chacun des publics et un compromis reste délicat à trouver. D'un point de vue de la communication vers les usagers, il est encore difficile de faire connaître cet outil à un nombre important d'enseignants et d'élèves et de faire le lien entre les concerts scientifiques et cet outil.

- [14] Diplôme universitaire de musicien intervenant. <https://metiers.philharmoniedeparis.fr/dumi.aspx>. Consulté le 3 mars 2022.

Références

- [1] Manuel Melon and Bruno Gazengel. Teaching electroacoustics in a master's degree at Le Mans University : a public-private partnership. In *26th ICSV*, Montréal, Canada, July 2019.
- [2] Bruno Gazengel and Manuel Melon. Un exemple de projet pédagogique en électroacoustique. In *CFA/VISHNO 2016*, 2016.
- [3] Manuel Melon, Antonin Novak, and Bruno Gazengel. IMDEA show, a new way to present student's projects in collaboration with companies and universities. In *Forum Acusticum*, pages 2581–2585, Lyon, France, December 2020.
- [4] Cours d'électroacoustique. <http://learn-electroacoustics.eu/>. Consulté le 3 mars 2022.
- [5] M. Melon, Y. Sluyts, A. Heimes, M. Horvat, K. Jarszewska, A. Herweg, E. Carayol, W. Wojtyła, and J.-P. Dalmont. Open access online course in acoustics in the frame of AcouStics Knowledge alliance (ASKnow) project. In *16e Congrès Français d'Acoustique*, Marseille, France, 2022.
- [6] Bruno Gazengel and Christophe Ayrault. Scientific concerts or learning acoustics with arts. In *ICSV 26*, 2019.
- [7] Dossier pédagogique des concerts scientifiques. <http://www.ophonius.net/concerts-scientifiques/outils-pedagogiques/>. Consulté le 3 mars 2022.
- [8] Philharmonie de Londres. <https://philharmonia.co.uk/resources/sound-samples/>. Consulté le 3 mars 2022.
- [9] Les bases de l'acoustique :. <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/les-bases-de-lacoustique-la-voix-dans-tous-ses-etats/>. Consulté le 3 mars 2022.
- [10] Plateforme d'apprentissage en ligne. https://moodle.org/?lang=fr_ca. Consulté le 3 mars 2022.
- [11] Projet theleme. <http://www.univ-lemans.fr/fr/innovation-partenariats/recherche-formation-innovation/programme-investissements-d-avenir/theleme.html>. Consulté le 3 mars 2022.
- [12] Projet étoile. <http://www.univ-lemans.fr/fr/innovation-partenariats/recherche-formation-innovation/programme-investissements-d-avenir/etoile.html>. Consulté le 3 mars 2022.
- [13] Réseau canopé : opérateur national de formation des enseignants. <https://www.reseau-canope.fr/>. Consulté le 3 mars 2022.