

UNE EXPÉRIENCE D'ENSEIGNEMENT DE L'ACOUSTIQUE INDUSTRIELLE INTÉGRANT PÉDAGOGIE DE LA COOPÉRATION, LABORATOIRE INFORMATIQUE ET PROJET DE SESSION

Frédéric Laville

Département de génie mécanique, École de technologie supérieure,
1100 Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada, H7N 4T2, frederic.laville@etsmtl.ca

RÉSUMÉ

Cet article décrit comment trois éléments pédagogiques non conventionnels ont été intégrés dans le cours d'acoustique industrielle des étudiants au baccalauréat en génie mécanique de l'École de technologie supérieure : (i) Méthode pédagogique active basée sur la pédagogie de la coopération, (ii) Utilisation intensive de l'outil informatique par l'intermédiaire de séances de travaux pratiques et d'examens en laboratoire informatique et (iii) Projet de session en équipe impliquant le diagnostic des sources de bruit, la conception et la réalisation d'un prototype à bruit réduit d'un outil ou d'un appareil ménager électriques.

ABSTRACT

This article explains how three non-conventional pedagogical strategies have been integrated into the Industrial Acoustics course for bachelor students in Mechanical Engineering at École de technologie supérieure: (i) Active pedagogy through cooperative learning (ii) Intensive use of computer technology through tutorial periods and exams in a computer laboratory environment, and (iii) Team-based term project involving noise source diagnostic, design and production of a quieter prototype for an electrical tool or household appliance.

1. INTRODUCTION

Lors de la création du cours optionnel *MEC 636 -Acoustique industrielle* pour les étudiants au baccalauréat en génie mécanique à l'ÉTS en 1994, il y avait trois objectifs principaux :

1. Utiliser une méthode pédagogique active,
2. Utiliser des outils informatiques adaptés aux calculs acoustiques,
3. Atteindre des objectifs d'apprentissage supérieurs selon la taxonomie de Bloom [1] : analyse, synthèse et évaluation.

Chacun de ses objectifs a conduit aux trois choix pédagogiques respectifs suivants :

1. La pédagogie de la coopération a été retenue suite à son introduction dans leurs cours à l'ÉTS par deux professeurs qui avaient suivis une formation sur cette méthode d'apprentissage l'année précédente,
2. Pour maximiser l'utilisation de l'outil informatique, il a été décidé d'avoir des séances de travaux pratiques et des examens en laboratoire informatique,
3. Projet de session en équipe de réduction du bruit sur un outil ou un petit appareil ménager électrique allant jusqu'à la modification de l'appareil pour concevoir et construire un prototype silencieux.

Ces trois choix pédagogiques sont intégrés dans la structure de base du cours présentée dans le tableau 1 où l'on voit les 13 semaines d'une session avec chaque semaine un cours de

3 heures (2 périodes de 1h30 séparées d'une pause de 30 mn), suivi presque toutes les semaines d'un laboratoire de mesures acoustiques ou d'une séance de travaux pratiques (TP) de 2 heures en alternance (en fait il y a 6 séances de laboratoire et 5 séances de TP car seulement 12 périodes de laboratoire/TP sont à l'horaire et l'une d'elles est réservée à l'examen de mi-session). Les TP et les examens (mi-session et final) se font dans un local informatique.

Tableau 1. Structure de base du cours

Semaine	3 heures de cours	2 heures de laboratoire / TP en alternance
1	Cours 1	Laboratoire de mesure 1
2	Cours 2	TP informatique 1
...
7	Cours 7	Examen de mi-session en salle informatique
...
12	Cours 12	Laboratoire de mesure 6
13	Cours 13	TP informatique 5
Examen final de 3 heures en salle informatique		

Un contenu typique de ces différentes activités est donné ci-dessous :

Cours 1, Acoustique psychophysologique : système auditif, distinction gêne et risque de surdité, règlements et recommandations.

Lab 1 : Enquête dans deux cas, un de gêne et un de risque de traumatisme auditif (surdité).

Cours 2, Acoustique physique : Principaux phénomènes physiques et calculs de base.

TP 1 : Calculs de base en acoustique sur ordinateur

Cours 3. Instrumentation et techniques de mesure : fonctionnement des éléments d'une chaîne de mesure acoustique, choix d'une méthode de mesure.

Lab 2 : Mesure de puissance acoustique (sur l'appareil du projet) dans une salle « ordinaire » et dans une salle réverbérante.

Cours 4. Acoustique des salles 1 - Le calcul prévisionnel du niveau de bruit dans un local et à l'extérieur : principes et calculs de base.

TP 2 : Calcul d'acoustique prévisionnelle sur ordinateur

Cours 5. Acoustique des salles 2 - Le calcul prévisionnel du niveau de bruit dans un local : applications et utilisation pour mesures de TL (perte par transmission) et de α (coefficient d'absorption).

Lab 3 : Mesure de TL et de α en salles semi-anéchoïque et réverbérante couplées.

Cours 6. Synthèse et préparation à l'examen de mi-session.

Cours 7. Le diagnostic des sources de bruit (préparation au projet) - Les formulations mathématiques utiles en acoustique (avec application à la réflexion/absorption acoustique : modélisation et choix des matériaux).

Cours 8. Réflexion/absorption/transmission des sons : formulation quadripolaire.

Lab 4 : Projet de réduction du bruit d'un appareil : Diagnostic des sources de bruit.

Cours 9. Transmission acoustique : modélisation et choix des matériaux.

TP 3 : Calculs de α et TL de parois sur ordinateur.

Cours 10. Propagation dans les conduits : formulation quadripolaire, choix et calcul des silencieux.

Lab 5 : Projet de réduction du bruit d'un appareil (suite) : Conception et essais de solutions potentielles.

Cours 11. Les sources de bruit d'origine aérodynamique - Propagation extérieure : effet de sol, effet des conditions atmosphériques, calcul des écrans.

TP 4 : Calculs de TL de silencieux sur ordinateur.

Cours 12. Vibrations et rayonnement acoustique : transmission par voie solide, isolation antivibratoire et rayonnement acoustique d'une surface vibrante.

Lab 6 : Projet de réduction du bruit d'un appareil (suite) : Réalisation de la solution finale et vérification de l'efficacité obtenue.

Cours 13. La conception de machines silencieuses. Présentation finale des projets.

TP 5 : Exercices de préparations à l'examen final sur ordinateur

2. PÉDAGOGIE DE LA COOPÉRATION

La pédagogie de la coopération ou apprentissage coopératif en petits groupes est une méthode pédagogique où l'apprentissage de l'étudiant est basé sur ses interactions avec d'autres étudiants au sein de petits groupes auxquels diverses tâches de natures et durées variées sont données dans toutes les périodes en classe (cours, exercices dirigés, travaux pratiques, laboratoires, etc.). C'est une méthode qui a un fort potentiel d'amélioration de l'apprentissage, elle est

bien documentée (les références les plus populaires sur le sujet sont les ouvrages des frères Johnson [2]) et des formations sont offertes pour les professeurs.

Ce qui est présenté dans cet article est la mise en œuvre pratique de cette méthode dans le cadre du cours d'acoustique industrielle (MEC 636) du programme de baccalauréat de l'ÉTS (une fois passée les premières difficultés de l'introduction d'une méthode non traditionnelle), ainsi que ses avantages et inconvénients constatés.

2.1 Mise en œuvre pratique

Formation des équipes

L'approche retenue est de former des équipes pour la durée entière de la session. Il serait idéal de former des équipes hétérogènes mais, pour faciliter la mise en œuvre avec des étudiants en fin de parcours académique et avec des habitudes d'apprentissage bien établies, le choix des coéquipiers est laissé libre avec une seule contrainte introduite récemment dans les plus grands cours-groupes : trouver des équipiers avec une plage de disponibilité commune pour les laboratoires de mesure qui nécessitent des plages horaires étendues au-delà de la planification officielle. Les équipes sont formées dès le premier cours. Le nombre est limité à 4 étudiants maximum (pour simplifier la gestion des travaux en équipe) et 3 étudiants minimum (pour assurer un minimum de variété dans les interactions au sein de l'équipe). En pratique, la taille d'un cours étant limitée à 40 étudiants (à cause des salles informatiques de 20 postes qui permettent d'accueillir 40 étudiants en deux séances consécutives de 2 heures sur la même demi-journée), un cours peut comprendre jusqu'à 10 équipes.

Organisation de l'espace

Un espace qui favorise le travail en équipe est important : idéalement des tables rondes seraient requises mais, pour que les salles de cours puissent aussi accueillir un enseignement traditionnel pour les autres cours au sein de l'ÉTS, un compromis est l'utilisation de tables à deux étudiants qui peuvent être mises face à face ou côte à côte pour travailler à quatre. Ceci est illustré sur la figure 1.

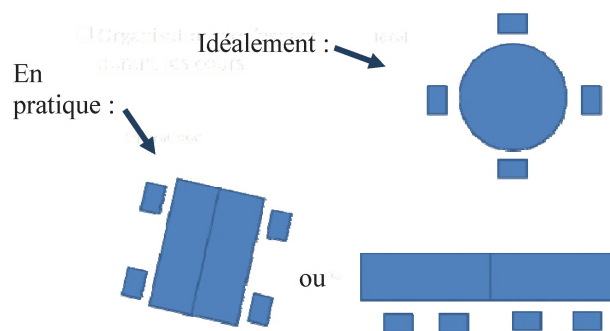


Figure 1. Organisation de l'espace durant les cours

Quelques principes de fonctionnement

Dans cette pédagogie de la coopération, l'équipe a un double but : mener à bien la tâche commune et s'assurer de l'apprentissage de tous ses membres.

Les questions sont posées au sein de l'équipe et en dernier recours à l'enseignant. Ceci est justifié par le principe que l'étudiant qui n'a pas compris le concept présenté par l'enseignant bénéficiera d'une autre explication que celle de l'enseignant et que l'étudiant qui a compris va améliorer sa compréhension en expliquant à un autre.

Choix des activités

C'est la partie qui peut nécessiter le plus de préparation pour l'enseignant car le succès de l'approche dépend beaucoup de la pertinence des activités, leur intérêt et leur variété (nature et durée). Cependant, un bon point de départ est d'entrecouper une présentation magistrale classique par de nombreux exercices d'application de longueurs et natures variables et basés sur des données différentes et complémentaires entre chaque équipe.

Exemple concret : chaque équipe a une bouteille d'eau vidée à une hauteur différente et procède à la détermination de la fréquence du résonateur de Helmholtz par calcul et mesure (le résonateur est excité par un membre de l'équipe qui souffle au ras de l'ouverture de la bouteille). On peut ensuite regrouper les résultats obtenus par chaque équipe pour une discussion synthèse avec l'ensemble des étudiants. Ce genre d'activité a le mérite de demander une participation des étudiants sur deux plans : un plan très concret d'une manipulation expérimentale et un plan beaucoup plus abstrait de calculs prédictifs.

Évaluation

Pour favoriser la collaboration et l'entraide dans l'apprentissage au lieu de la compétition, il est important d'utiliser une évaluation critériée et non pas normative et d'en informer les étudiants. En pratique, une grille est incluse dans le plan de cours pour donner la relation fixe entre les cotes finales et les scores obtenus à l'ensemble des évaluations.

2.2 Avantages et inconvénients

L'avantage principal de l'approche coopérative est la plus grande implication des étudiants dans leur apprentissage. Des différences dans les niveaux de participation ont été ressenties par l'enseignant entre une séance de cours contenant un temps assez long d'exposé magistral (les étudiants hésitaient à sortir leur calculatrice pour un exercice tant ils étaient dans le mode écoute et non action) et une séance de cours contenant beaucoup d'activités en équipe (implication importante des étudiants : ils ne pensaient plus à s'arrêter à l'heure de la pause tant ils étaient impliqués dans leur activité).

Un avantage pour l'enseignant est qu'il a une très bonne idée en temps réel de la capacité des étudiants à comprendre et mettre en œuvre ce qui leur est présenté et il peut intervenir rapidement si une notion n'est pas assimilée.

Un inconvénient est qu'à priori moins de matière est couverte et il faut donc bien centrer le cours sur les apprentissages fondamentaux.

3. TRAVAUX PRATIQUES ET EXAMENS EN LABORATOIRE INFORMATIQUE

Une autre caractéristique de ce cours est l'utilisation assez intensive d'un outil informatique pour le calcul des phénomènes acoustiques qui doit être fait en un grand nombre de points fréquentiels. L'environnement MATLAB™ conçu pour le calcul matriciel est utilisé parce que bien adapté mais aussi parce que c'est l'environnement de calcul utilisé dans d'autres cours en génie mécanique à l'ÉTS. Pour encourager la maîtrise et l'utilisation de cet outil, les mesures suivantes ont été prises :

- Tous les calculs utilisent le même outil sauf dans les cours car cet outil n'était pas disponible et une calculatrice symbolique est utilisée (ceci va changer avec l'introduction des ordinateurs portables dans les cours comme expliqué dans la conclusion).
- Les travaux pratiques de deux heures aux deux semaines se font en laboratoire informatique.
- Les examens (de mi-session et final) se font en laboratoire informatique.

4. PROJET DE SESSION

L'objectif donné aux étudiants est de démontrer la faisabilité de réduire le bruit d'un appareil par des modifications qui conduiront à un prototype plus silencieux.

Vu que le prototype sert principalement à démontrer la faisabilité de la réduction de bruit, il peut donc être réalisé avec des matériaux/montages faciles à utiliser tout en sachant que l'appareil commercial pourrait être réalisé avec des matériaux/montages adaptés à la production en grande série. La fonctionnalité de l'appareil doit être conservée (durée de fonctionnement et performances mécaniques typiques, par exemple au moins 80 % du débit d'air pour un sèche-cheveux pendant au moins 5 minutes)




Les grandes étapes du projet sont (1) la définition d'un objectif de réduction du bruit, (2) le diagnostic des sources de bruit et des chemins de transmission par des méthodes variées (analyse fréquentielle, modification de l'appareil, montages spéciaux, variation des conditions de fonctionnement, encoffrement partiel, etc.) et (3) la

conception et l'essai de solutions potentielles pour aboutir à la réalisation de la solution finale et vérifier son efficacité.

Le projet est réparti sur 4 séances de laboratoire de deux heures aux deux semaines. Il fait l'objet de deux rapports de laboratoire évalués indépendamment du rapport final : un premier rapport de mesure de puissance acoustique normalisée selon ISO 3744 [3] et un deuxième rapport de planification des essais de diagnostic. Il se termine par une présentation orale avec démonstration des performances mécaniques et acoustiques lors du dernier cours et d'un rapport final remis en fin de session.

Le tableau 2 offre une liste partielle des différents projets réalisés au cours des 19 années d'existence de ce cours avec inclusion de quelques images des prototypes. La photo de la figure 2 a été prise lors de la présentation des projets en 2010. On y voit un étudiant qui opère le prototype silencieux d'appareil de son équipe (un sèche-cheveux) pour la mesure acoustique affichée sur l'écran en bandes d'octave. L'organisation de la salle de classe est typique de celle de tous les cours de la session : les étudiants sont rassemblés en équipe de 4 (ou 3) sur deux tables côte à côte.

Tableau 2. Liste partielle des différents projets incluant quelques images de prototypes à niveau de bruit réduit

Aspirateur d'atelier, mélangeur, batteur à main, moulin à café, éclateur de maïs à air chaud.	
Sèche-cheveux (projet le plus souvent utilisé)	
Puissant aspirateur à main	
Scie sauteuse	

L'avantage de ce type de projet est certainement d'atteindre les objectifs supérieurs d'apprentissage dans la taxonomie de Bloom, soit le niveau 4 *analyse* (diagnostic des sources de bruit), le niveau 5 *synthèse* (conception et réalisation de solutions) et le niveau 6 *évaluation* (analyse critique des solutions).

Les exigences sont celles associées au travail en équipe. Comme en cours les équipes sont déjà formées, le projet ne nécessite pas de nouvelles formations d'équipes, il s'intègre donc très naturellement dans la pédagogie de la coopération. Comme il s'agit d'un travail à plus long terme que ce qui est fait en cours, il est demandé aux étudiants de faire un suivi

plus formel du fonctionnement de l'équipe. Un des moyens utilisés dans le cadre de ce cours est de demander de remplir plusieurs fois dans la session un questionnaire incluant une réflexion sur ce qui a bien été et ce qui serait à améliorer et les contributions respectives de chacun des membres de l'équipe. Ce questionnaire constitue aussi un mécanisme qui permet de pondérer les notes des étudiants en fonction de leurs contributions.



Figure 2. Présentation des projets de session – mesure acoustique du prototype d'appareil silencieux avec affichage à l'écran des valeurs par bandes d'octave

5. CONCLUSIONS

L'apprentissage par petits groupes induit une participation active des étudiants, le projet de session leur permet d'atteindre les plus hauts objectifs d'apprentissage et l'utilisation conjointe de ces deux approches permet d'assurer la continuité du travail en équipe dans l'ensemble des activités de formation.

La troisième approche (utilisation intensive de l'outil informatique) a le mérite de permettre la résolution de problèmes plus avancés et plus proches de la réalité industrielle. Cependant la maîtrise de cet outil informatique pourrait être augmentée par son utilisation en cours. En attendant que chaque étudiant dispose de son propre ordinateur portable muni des logiciels requis, un projet pilote de laboratoire mobile informatique (chariot avec des ordinateurs portables) a permis d'expérimenter, en ce début d'année 2012, l'utilisation de l'ordinateur en séance de cours dans une salle spécialement équipée avec des prises électriques à chaque table. Les résultats sont encourageants.

RÉFÉRENCES

1. Richard Prigent (1990) *La Préparation d'un cours*, Presse internationale polytechnique, pp 33-45.
2. David and Roger Johnson and Karl Smith (2006, 8th Edition). *Active Learning: Cooperation in the College Classroom*
3. ISO 3744:2010 Acoustique -- Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique -- Méthodes d'expertise pour des conditions approchant celles du champ libre sur plan réfléchissant