



## **Un exemple de partenariat fondation - public - privé : le Master International d'électroacoustique IMDEAcoustics**

B. Gazengel

LAUM CNRS UMR 6613, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans, France  
bruno.gazengel@univ-lemans.fr

Dans le cadre des formations d'acoustique proposées à l'Université du Maine, au Mans, un master International en électroacoustique a vu le jour en septembre 2012 suite à la demande de la fondation EMV. Les membres de cette fondation, constatant un manque d'ingénieurs formés à l'électroacoustique dans les différents pays d'Europe, s'est tournée vers l'Université du Maine pour la création de ce master, ce qui a donné lieu à la signature d'une convention de partenariat entre l'Institut de France (qui héberge la fondation) et l'Université du Maine. Ce master prend appui sur les deux années du master d'acoustique existant à l'université. La mutualisation est environ de 50 % sur les 3 premiers semestres. Les autres enseignements sont dispensés par des intervenants extérieurs académiques ou professionnels. Les enseignements spécifiques d'électroniques sont assurés par les enseignants de l'ESEO (Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest, Angers), par ailleurs membres du Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine. Enfin, les enseignements plus pratiques dédiés aux techniques du son sont assurés par des collègues de l'ITEMM (Institut Technologique des Métiers du Son, Le Mans). La présentation proposée vise à donner les objectifs pédagogiques du master, présenter les grandes familles de cours dispensés ainsi que les intervenants participant au projet. Quelques exemples de réalisations (TP, projet) d'étudiants seront également présentés.

## 1 Introduction

Les universités françaises proposent à l'heure actuelle un certain nombre de formations d'acoustique de niveau master avec certaines mentions et spécialités ou parcours, comme par exemple les master mention sciences de l'ingénieur, spécialité acoustique [1], [2]. La société française d'acoustique fait un bilan de ces formations sur son site internet [3].

L'Université du Maine (Le Mans) offrait jusqu'en 2012 aux étudiants un master d'acoustique comprenant trois parcours "recherche acoustique", "contrôle non destructif" et "Acoustique des Transports et de l'Environnement" [4].

Depuis septembre 2012, elle propose un nouveau master, intitulé "International Master's Degree in Electroacoustics" suite à la demande de la fondation EMV [5], hébergée par l'Institut de France. En effet, la fondation EMV a souhaité apporter son soutien à une telle formation après avoir constaté la difficulté à recruter des ingénieurs bien préparés pour intégrer les entreprises du monde de l'électroacoustique.

L'électroacoustique est un domaine transversal couvrant les champs de l'acoustique, des vibrations, de l'électromagnétisme, de l'électricité et de l'électronique. Ce domaine a connu un essor important depuis les trente dernières années, par exemple avec le développement des systèmes dédiés à la sonorisation de forte puissance (système de "line arrays" pour la sonorisation de concerts par exemple) et l'apparition des systèmes de téléphonie et de téléphonie mobile. A ce jour les applications identifiées en électroacoustique pour la construction de ce master sont les suivantes :

- Produits grand public : sonorisation & Hi-Fi, télécommunications avec capteurs et actionneurs innovants, objets nomades, synthèse de champs, acoustique virtuelle, design sonore.
- Sonorisation pour le bâtiment.
- Transport : automobile, aéronautique, rail, environnement sonore à l'intérieur des moyens de transport.
- Industrie : conception et fabrication de nouveaux transducteurs, transducteurs pour métrologie acoustique, outils de simulation, réseaux de sources et capteurs.

- Environnement & santé : réduction du bruit par contrôle actif, appareils d'aide auditive.

Le développement d'une telle activité dans de nombreuses entreprises (de taille moyenne en général) a conduit certains pays à favoriser l'ouverture de formations spécifiques, de façon à venir en appui aux industries spécialisées dans ce domaine. On peut ainsi noter l'existence d'un master spécifique à Taïwan, soutenu par une entreprise pour l'équipement de son laboratoire [6]. Quelques entreprises italiennes spécialisées en électroacoustique ont souhaité elles aussi créer une telle formation [8].

Enfin, certaines universités proposent depuis assez longtemps des formations qui traitent déjà d'électroacoustique du fait de leur proximité avec des entreprises spécialisées. On peut citer par exemple le Danish Technical University (DTU), partenaire d'entreprises renommées au Danemark (Bruël & Kjaer, Sonion, Bang & Olufsen par exemple), l'université de Chalmers ou l'Université de Southampton.

## 2 Présentation du master

Le master d'électroacoustique est actuellement habilité en tant que master mention ElectroAcoustique jusqu'en 2017. Il est déclaré à finalité professionnelle. Il apparaît ainsi comme une deuxième mention dans le paysage des formations en acoustique de l'Université du Maine (figure 1).

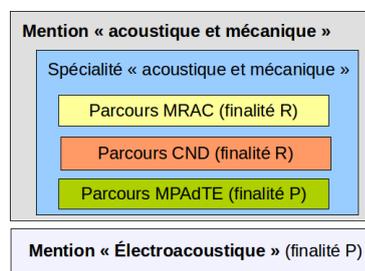


FIGURE 1 – Organisation des master d'acoustique et d'électroacoustique à l'Université du Maine.

### 2.1 Objectifs pédagogiques

Le master IMDEA vise à former des futurs ingénieurs voire des chercheurs dans le domaine de l'électroacoustique. Ces personnes devront a priori prendre en charge :

- la conception,
- le prototypage,
- le contrôle et la mesure,
- le suivi de production,

d'éléments d'une chaîne électroacoustique.

Les éléments de la chaîne électroacoustique concernés sont présentés à la Figure 1. Ainsi, les différentes compétences que devront posséder les ingénieurs formés dans le master concernent :

- le signal source (génération, mise en forme, traitement),
- l'amplification,
- la transduction (électromécanique, mécano-acoustique),
- le couplage à l'air (rayonnement, directivité),
- le signal reçu (acquisition, mise en forme, traitement, analyse).

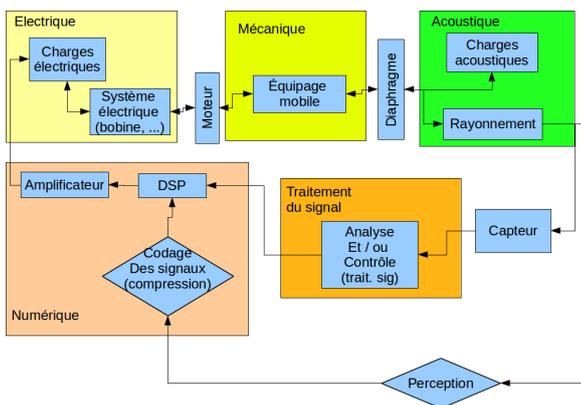


FIGURE 2 – Compétences techniques identifiées pour répondre aux objectifs du master.

Les compétences apportées aux étudiants dans le master sont a priori celles concernant les domaines électriques, mécaniques, acoustique ainsi que le traitement du signal.

## 2.2 Recrutement et débouchés des étudiants

Le recrutement des étudiants s'effectue au niveau international. A ce jour, la moitié des étudiants de la promotion est issue environ de la formation de licence 3 d'acoustique de l'Université du Maine. Les autres étudiants recrutés viennent de pays tels que l'Ukraine, la Colombie, l'Iran.

Les débouchés envisagés pour ces étudiants sont les entreprises d'électroacoustique européennes et internationales. Sachant que l'électroacoustique reste un domaine confidentiel, les promotions sont constituées de 12 à 15 étudiants au maximum.

## 2.3 Organisation des enseignements

Les enseignements sont organisés en quatre semestre comptabilisant chacun environ 300 heures. Ceux ci s'appuient sur les enseignements déjà existant du master d'acoustique de l'Université du Maine et sont réalisés en langue anglaise, ce qui a eu pour conséquence de proposer certains cours du master d'acoustique en anglais. La mutualisation est plus importante en première année (environ 50 %) et est extrêmement faible au dernier semestre (figure 3).

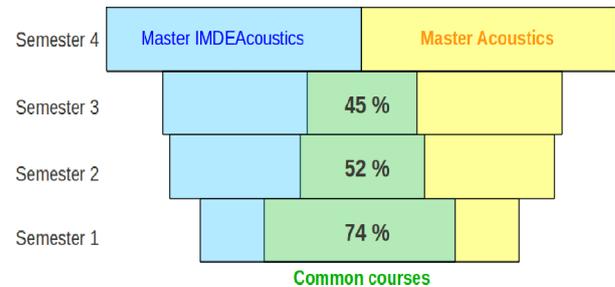


FIGURE 3 – Vue des enseignements mutualisés entre le master IMDEA et le master d'acoustique proposés à l'Université du Maine.

## 2.4 Contenu du master

Le master comprend des enseignements organisés en Unités d'Enseignements (UE) organisées comme présenté à la figure 5. L'ensemble des enseignements représente environ 1200 heures pour les deux années.

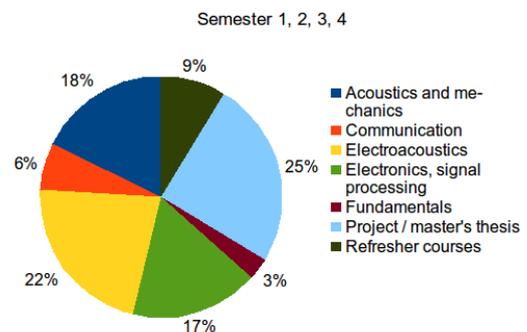


FIGURE 4 – Répartition des Unités d'Enseignements (en pourcentage du temps total).

La figure 5 montre que le projet et le stage représentent un quart du temps consacré à la formation. Les enseignements spécifiques à l'électroacoustique représentent 22 % du temps total. Enfin les enseignements d'acoustique et mécanique d'une part, d'électronique et traitement du signal d'autre part représentent environ chacun 17 %. Ceux ci sont complétés par des enseignements en communication et par des remises à niveau.

La répartition des familles d'enseignements présentées plus en détail ci-dessous est donnée à la figure (en pourcentage du nombre total de crédits).

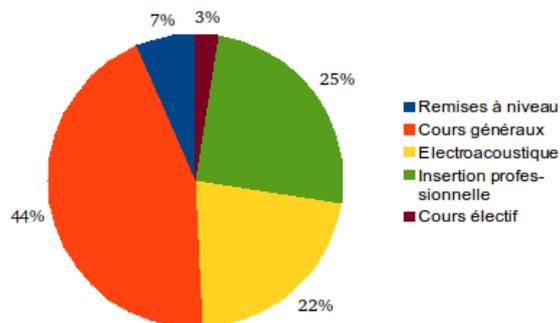


FIGURE 5 – Répartition des familles d'enseignements en pourcentage du nombre total de crédits (120 crédits).

#### 2.4.1 Remises à niveau

Le premier semestre (master 1) est la période d'homogénéisation des compétences des nouveaux étudiants, chacun d'entre eux ayant une histoire *a priori* différente (formation de Licence (BSc) en électronique, mécanique, acoustique). Cette homogénéisation est réalisée grâce aux enseignements de remise à niveau (refresher courses). Le principe des remises à niveaux est de faire travailler les étudiants entre eux grâce à des exercices de niveau Licence dans les matières suivantes : mécanique, vibrations, traitement du signal, acoustique et mathématiques. Les étudiants sont aidés par un enseignant qui est présent en début et fin de chaque demi-journée pour présenter les concepts utiles d'une part et répondre aux questions d'autre part. Les remises à niveaux représentent 8 ECTS (crédits) soit environ 7 % de l'ensemble des crédits.

#### 2.4.2 Cours généraux

La liste des cours généraux (hors remises à niveau, projet stage et cours spécialisés d'électroacoustique) est présenté à la figure 6.

UE Name	Course	UEO	Total Result
Fundamentals	Maths for acoustics	4	4
Electronics, signal processing	Algorithms & Matlab	2	2
	Audio sig. Proc. 2	1	1
	Digital electronics 1	1	1
	Digital filtering	3	3
	LP analog electronics	3	3
	Power electronics	4	4
Communication	Signal analysis	4	4
	Project management	1	1
	Scientific expression	1	1
	Technical English	4	4
Acoustics and mechanics	Tools for job searching	1	1
	3D sound	1	1
	Acoustics 1	2	2
	Acoustics 2	4	4
	CAD modeling	2	2
	Continuous systems vib.	2	2
	Numerical Methods	3	3
	Numerical Vibroacoustics	3	3
	Room acoustics	3	3
	Vibrations experiments	1	1
Vibroacoustics	3	3	
<b>Total Result</b>		<b>53</b>	<b>53</b>

FIGURE 6 – Liste des cours généraux et nombre de crédits (ECTS) associés.

Ceux-ci représentent 53 ECTS (sur 120) soit 44 % en terme de crédits. Les cours concernant l'électronique numérique (Audio Signal processing, digital electronics), l'électronique (Low Power Analog Electronics, Power

Electronics), le cours "3D sound" et "CAD modelling" sont plus spécifiques au master IMDEA et visent à apporter un contenu professionnel.

#### 2.4.3 Unité d'Enseignements d'électroacoustique

Les cours spécialisés d'électroacoustique sont dispensés au cours des semestres 1 à 3. Les intitulés de ces enseignements sont les suivants :

- Transducers basics 1 & 2 : étude des approches utilisant les constantes localisées et les schémas électriques équivalents pour réaliser les modèles de transducteurs.
- Acoustics of waveguides : cours sur la théorie des guides d'ondes.
- Materials for transducers : cours sur l'effet des matériaux de suspension, membrane sur la réponse d'un haut-parleur.
- Directivity control : principes de contrôle de la directivité par les réseaux de sources, capteurs et par les pavillons.
- Magnetism in structures : cours de physique générale et appliquée pour comprendre les principes du couplage électrodynamique.
- Num. modelling of motors : modélisation numérique par éléments finis de structures magnétiques (moteur de haut-parleur).
- Sensors and microtech. : modélisation, principe de fabrication et méthodes de mesure des micros transducteurs.
- Transducers experiments : série de travaux pratiques sur les transducteurs.
- Transducers measurements : principes de mesure et étalonnage des casques et microphones. Notions sur les méthodes de mesures optiques.
- Transducers modelling : principes de modélisation des transducteurs et charges acoustiques prenant en compte les effets de dissipation visco-thermiques.

Par ailleurs, les étudiants doivent réaliser un projet en autonomie et en relation avec une entreprise ou un laboratoire à la fin du semestre 2. Ce projet d'une durée de six semaines, comprend une semaine d'étude bibliographique et de planification de projet puis 5 semaines d'études techniques et scientifiques.

L'ensemble de ces activités représente 26 ECTS (crédits) sur un total de 120, soit environ 22 % de l'ensemble des crédits.

#### 2.4.4 Insertion professionnelle

Le dernier semestre (semestre 4) est dédié à l'insertion professionnelle. Il comprend :

- un enseignement intitulé "transducers project",
- un stage.

Le cours “transducers project” vise à découvrir deux logiciels d’éléments de frontières et d’éléments finis, ABEC [9] et COMSOL [10]. ABEC est un logiciel qui permet le couplage entre un modèle de système électroacoustique utilisant les hypothèses de constantes localisées et une modélisation du fluide environnant par la technique des éléments de frontières. Il s’avère être un bon compromis pour la modélisation des systèmes électroacoustiques. Comsol est un logiciel de modélisation multiphysique qui est de plus en plus utilisé dans les entreprises d’électroacoustique pour le développement de leurs prototypes et qui de fait est intéressant pour les étudiants du master.

Le stage de durée 5 mois vise à préparer l’insertion professionnelle des étudiants en les confrontant à des problèmes réels soumis par des entreprises. A ce jour, les neuf étudiants de master 2 sont en stage dans quatre entreprises ou laboratoires français, cinq entreprises situés en Allemagne, Belgique, Danemark, Italie et en Suisse.

## 2.5 Intervenants et partenaires

De façon à pouvoir réaliser tous les enseignements prévus par la maquette pédagogique, les intervenants du master sont répartis en trois familles :

- les enseignants du master d’acoustique,
- les enseignants spécialisés du master d’électroacoustique,
- les enseignants appartenant aux structures partenaires du master.

Les structures partenaires du master sont d’une part le groupe ESEO (Ecole Supérieure d’Electronique de l’Ouest, Angers) et l’ITEMM (Institut Technologique Européen des Métiers de la Musique).

Les enseignants spécialisés sont pour beaucoup des professionnels de l’électroacoustique travaillant au sein d’entreprises européennes (Active Audio, BW speakers, B & C speakers, Klippel GmbH, R & D team,...).

Ainsi, les enseignements offerts par les personnels universitaires, les partenaires issus des structures d’enseignement et de formation privées et par les professionnels reconnus du domaine permettent d’apporter aux étudiants une vision à la fois académique et professionnelle du monde de l’électroacoustique.

Par ailleurs, les journées d’étude organisées par l’AES (Audio Engineering society) ou le groupe GEA (Groupe ElectroAcoustique) de la SFA (Société Française d’Acoustique) font partie des enseignements offerts aux étudiants dans le cadre du master.

## 3 Exemples de travaux d’étudiants

Les étudiants sont amenés à réaliser des travaux pratiques et projets en relation directe avec l’électroacoustique. Nous présentons ci-dessous quelques exemples de ces travaux.

### 3.1 Travaux pratiques

Les travaux pratiques spécifiquement dédiés à l’électroacoustique sont les suivants :

- Transducers basics : ce TP a pour objectif de consolider les connaissances de base en électroacoustique acquises en cours et TD. Les étudiants travaillent sur les systèmes à 1 ou 2 degrés de liberté (électrique, mécanique, acoustique), le couplage électromécanique (étude d’un pot vibrant) et sur les transducteurs (étude de haut-parleurs pour différentes charges). A l’heure actuelle ces travaux sont réalisés sous forme d’expériences et de simulations numériques (modélisation des systèmes électroacoustiques à l’aide des logiciels Akabak [11] et Matlab).
- Transducers experiments : ce TP a pour objectif de consolider les connaissances acquises en Master 2. Trois thématiques sont traitées sous forme d’expériences et de simulations : non linéarités des haut-parleurs, directivité des systèmes électroacoustiques, étalonnage des microphones. Ces travaux pratiques permettent aux étudiants d’acquérir les compétences pour la caractérisation et la modélisation fines des systèmes électroacoustiques.

## 3.2 Projets

Les projets sont réalisés par les étudiants de master 1 à la fin du semestre 2. Ils visent à consolider les connaissances théoriques et pratiques acquises au cours des semestres 1 et 2. Ils sont réalisés en relation avec une entreprise ou un laboratoire travaillant dans le domaine de l’électroacoustique. Les sujets proposés portent en général sur la modélisation (constantes localisées) et la caractérisation expérimentale de transducteurs ou de systèmes de transducteurs.

A ce jour, une seule promotion d’étudiants a travaillé sur les projets. Quelques exemples de projets réalisés sont cités ci-dessous :

- Mesure des non linéarités de haut-parleurs : comparaison de deux méthodes de caractérisation.
- Etude de haut-parleurs miniatures pour le contrôle d’impédance de paroi.
- Etude expérimentale de filtres acoustiques miniatures.
- Modélisation et caractérisation expérimentale d’écouteurs.
- Etude d’un système de prise de son piézoélectrique pour instruments de musique.

## 4 Conclusion

La collaboration entre une fondation (fondation EMV, institut de France), deux établissements d’enseignement et de formation privés (ESEO, ITEM) et un établissement d’enseignement supérieur (Université du Maine) a permis la création d’un master international en électroacoustique visant à former des ingénieurs spécialisés dans ce domaine et pouvant être recrutés par les nombreuses entreprises de petite et moyenne taille.

A terme, nous espérons développer le recrutement des étudiants européens et non européens. Par ailleurs l’existence de cette formation permettra a priori de créer

un réseau de laboratoires et d'entreprises spécialisés en électroacoustique pour renforcer les collaborations dans les actions de recherche.

## Références

- [1] Master d'acoustique, Université Pierre et Marie Curie, [http://www.upmc.fr/fr/formations/diplomes/sciences\\_et\\_technologies2/masters2/mention\\_de\\_master\\_sciences\\_de\\_l\\_ingenieur/specialite\\_de\\_master\\_acoustique\\_m2.html](http://www.upmc.fr/fr/formations/diplomes/sciences_et_technologies2/masters2/mention_de_master_sciences_de_l_ingenieur/specialite_de_master_acoustique_m2.html), consulté le 11 mars 2014.
- [2] Master d'acoustique, Université d'Aix Marseille, <http://www.master-acoustique.lma.cnrs-mrs.fr/>, consulté le 11 mars 2014.
- [3] Formations en acoustique, Société Française d'Acoustique <https://intranet.sfa.asso.fr/bin/enseignement/showlist>, consulté le 11 mars 2014.
- [4] Master d'acoustique, Université du Maine, <http://sciences.univ-lemans.fr/MASTER-Acoustique>, consulté le 11 mars 2014.
- [5] Fondation EMV, <http://www.institut-de-france.fr/fr/article/1988-subventions-20122013>, consulté le 11 mars 2014.
- [6] Master's Program of Electroacoustics, Feng Chia University, <http://www.earmp.fcu.edu.tw/wSite/mp?mp=349102>, consulté le 11 mars 2014.
- [7] Sound Engineering University Course, [http://www.rcf.it/fr\\_FR/education/sound-engineering-university-courses](http://www.rcf.it/fr_FR/education/sound-engineering-university-courses)
- [8] Master in Ingegneria Elettroacustica e dei Sistemi Audio, Laboratorio per l'Ingegneria ElettroAcustica [http://www.inea-lab.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=120](http://www.inea-lab.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=120), consulté le 14 mars 2014.
- [9] Acoustic Boundary Element Calculator (ABEC), R & D Team, <http://www.randteam.de/ABEC3/Index.html>, consulté le 12 mars 2014.
- [10] Loudspeaker driver, Comsol Multiphysics 4.4. [http://www.comsol.com/model/download/184293/models.aco.loudspeaker\\_driver.pdf](http://www.comsol.com/model/download/184293/models.aco.loudspeaker_driver.pdf), consulté le 12 mars 2014.
- [11] Akabak, R & D Team, <http://www.randteam.de/AkAbak/Index.html>, consulté le 12 mars 2014.
- [12] Logiciel Finite Elements Method Magnetic (FEMM), <http://www.femm.info/wiki/Woofers>, consulté le 11 mars 2014.