

Syllabus Coursus Master Ingénierie, Mécanique.

Sorbonne Université CMI5

Parcours Acoustique (Acou)

Liste of Teaching Units

Semestre 9

Core Units

- Technoscience, ethic and society
- Fondamentaux pour l'ingénierie acoustique
- Méthodes expérimentales et projets en acoustique
- Traitement du signal et méthodes numériques pour acoustique
- Applications en acoustique (choix de modules)

Thématique Acoustique Physique et industrielle (AcPhy)

- Compléments en acoustique physique

Thématique Acoustique Architecturale et urbaine (AcAr)

- Compléments en acoustique architecturale

Semestre 10

- Certification
- Projet d'approfondissement
- Stage de fin d'études

Intitulé Unité d'Enseignement – Cycle Master – CMI5		Code	CM	TD	TP	AMS	Heures Présence	Travail Perso	ECTS	
CMI5 S9	Technoscience, ethic and society	MU5EEG03	16	8		24	24	40-60	6 *	
	Parcours Acoustique (Acou)									
	Fondamentaux pour l'ingénierie acoustique	MU5MEAP1	56				56	70-90	6	
	Méthodes expérimentales et projets en acoustique	MU5MEAP2			48	20	48	70-90	6	
	Traitement du signal et méthodes numériques pour acoustique	MU5MEAP3	36		28		64	70-90	6	
	Applications en acoustique (choix de modules)	MU5MEAP5		30	30		60	70-90	6	
	Cours électifs thématique	Thématique Physique et industrielle (AcPhy)								
		Compléments en acoustique physique	MU5MEAP6	60				60	70-90	6
		Thématique Acoustique Architecturale et urbaine (AcAr)								
		Compléments en acoustique architecturale	MU5MEAA1	48			20	48	70-90	6
Total Tronc commun 24 +6* ECTS - Total thématique 6 ECTS - Total CMI5 S9 Acou = 30 ECTS + 6 *										

Intitulé Unité d'Enseignement – Cycle Master – CMI5		Code	CM	TD	TP	AMS	Heures Présence	Travail Perso	ECTS
CMI5 S10	Certification TOIC /TOEFL	MU4LVANT				30		30-40	3*
	Projet d'approfondissement	MU5EEG04				40		50-60	3*
	Stage de fin d'études	MU5MES03					800	80-100	30
Total CMI5 -S10 30 ECTS + 6 *									

- Unités hors contrat (ne rentrant pas dans le calcul de la moyenne du semestre (figurent au supplément au diplôme)

Semestre 9

Technosciences, Ethic and Society

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5EEG03 – Mention Master

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est d'amener les étudiants à réfléchir sur les dimensions sociales et éthiques du métier d'ingénieur. Il s'intéresse aux relations complexes entre société et techniques et notamment au rôle des techniques en tant que porteuses de valeurs. Se reposant sur ces analyses, le cours explore ensuite les questions et dilemmes éthiques que les ingénieurs peuvent rencontrer dans l'exercice de leur travail. Une attention particulière est portée à l'examen de cas classiques en éthique de l'ingénierie, comme ceux de Three Mile Island et du pont du Québec. À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables d'identifier les problèmes éthiques soulevés par les pratiques professionnelles. Ils feront aussi preuve de réflexivité sur leur future profession. Le cours est enseigné en anglais.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Introduction
- Déterminisme technique et construction sociale. Lire : T. Pinch et W. Bijker, *The Social Construction of Facts and Artifacts ?* Exposé : (aussi) Robert Heilbroner, *Do Machines Make History ?*
- Dispositifs, systèmes, et leur pouvoir d'action sur la société. Lire : B. Latour, *Where are the Missing Masses ? The Sociology of a Few Mundane Artifacts*. Exposé : (aussi) T. Hughes, *Technological Momentum*.
- Techniques et valeurs. Lire : J. Wetmore, *A. Technology : Reinforcing Values, Building Community*. Exposé : (aussi) Langdon Winner, *Do Artifacts Have Politics ?* et R. Weber, *Manufacturing Gender in Commercial and Military Cockpit Design*.
- Complexité et incertitude. Apporter : Proposition de mémoire Lire : D. Vinck, *Ingénieurs au quotidien*. Exposé : (aussi) Jameson Wetmore, *Engineering Uncertainty*.
- Ingénierie et expérimentation. Lire, exposé: M. Martin et R. Schinzinger, *Introduction to Engineering Ethics*, pp. 77-103.
- Les désastres techniques. Lire et exposé : S.K.A. Pfafteicher, *Lessons amid the Rubble*, pp. 36-61.
- Ingénierie et sécurité. Lire et exposé : Mike Martin et Roland Schinzinger, *Ethics in Engineering*, p. 117-145.
- Ingénierie et environnement. Lire, exposé: Mike Martin et Roland Schinzinger, *Ethics in Engineering*, pp. 219-242.
- Nanotechnologies, génétique et robotique. Lire: Bill Joy, *Why the Future Doesn't Need Us*. Exposé : Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering, and Technology, *Nanotechnology : Shaping the World Atom by Atom*.

Pré-requis. Le corpus des enseignements d'ouverture sociétale et culturelle du parcours CMI suivis depuis la 1^{ère} année.

Références bibliographiques. Bowen R. 2012. *Engineering Innovation in Health Care : Technology, Ethics and Persons*. HRGE, pp. 204-221. Collins, Harry & Trevor Pinch. 2002. *The Golem at Large : What You Should Know about Technology*. Cambridge University Press. Didier. Ch. 2008. *Penser l'éthique des ingénieurs*. Paris, PUF. Didier, C.. 2008. *Les ingénieurs et l'éthique : pour un regard sociologique*. Hermes Science publications. Heilbroner, Robert. 1967. *Do Machines Make History? Technology and Culture*, pp. 335-345. Hughes, T. 1994. *Technological Momentum*, in Marx, Leo & Merritt Roe Smith, *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*. Cambridge: MIT Press, pp. 101-113. Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering, and Technology, *Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*, in Johnson, Deborah et Jameson Wetmore. *Technology and Society: Building Our Sociotechnical Future*. MIT Press Johnson, D. & Jameson W.. 2008. *STS and Ethics: Implications for Engineering Ethics*, in Hackett, Edward, Olga Amsterdamska, M. Lynch et J. Wajcman, *The Handbook of Science and Technology Studies*. Cambridge, MIT Press, pp. 567-582. Joy, Bill. Avril 2000. *Why the Future Doesn't Need Us*, *Wired*, pp. 238-262. Latour, B. 1992. *Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts* in Wiebe Bijker et John Law, *Shaping Technology/Building Society: Studies in Socio-technical Change*. Cambridge, MIT Press, pp. 225-258. Martin, Mike & Roland Schinzinger. 2005. *Ethics in Engineering*. McGraw-Hill. Martin, M. & Roland S.. 2010. *Introduction to Engineering Ethics*. New York : McGraw- Hill. Pfafteicher, S. K. A. 2010. *Lessons Amid the Rubble*. Johns Hopkins University Press. Pinch, Trevor & Wiebe

Bijker. 1987. The Social Construction of Facts and Artifacts in Wiebe Bijker, Thomas H., Trevor P., The Social Construction of Technological Systems. Cambridge, MIT Press, pp. 17-50. Vinck, D. 1999. Ingénieurs au quotidien : ethnographie de l'activité de conception et d'innovation. Presses universitaires de Grenoble. Weber R.. 1997. Manufacturing Gender in Commercial and Military Cockpit Design, Science, Technology, & Human Values, pp. 235-253. Jameson. 2008. Engineering with Uncertainty: Monitoring Air Bag Performance, Science and Engineering Ethics, pp. 201-218. Jameson. 2009. Amish Technology: Reinforcing Values, Building Community in Johnson, D. et Jameson W.. Technology and Society: Building Our Sociotechnical Future. Cambridge: MIT Press. -Winner, Langdon. 1986. Do Artifacts Have Politics? The Whale and the Reactor: a Search for Limits in an Age of High Technology. University of Chicago Press, pp. 19-39.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports des cours magistraux. Liste de livres.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Connaissance des dimensions sociales et éthiques du métier d'ingénieur.

Compétences développées dans l'unité.

- Perfectionnement de la connaissance de l'anglais. Amélioration de l'expression écrite.
- Formes de raisonnement pratiquées dans les sciences sociales.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 24 heures réparties en 16 h de cours, 8 h de TD. Travail personnel 40-60 h.

Évaluation. Participation aux séances : 20 %, Exposé : 20 %, Mémoire : 40 %, Soutenance du mémoire : 20 %.

Responsables. C. Lecuyer

Fondamentaux pour l'ingénierie acoustique

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU5MEAP1 – **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner les bases théoriques de l'acoustique (propagation des ondes mécaniques dans les fluides).

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Les notions abordées dans ce cours sont :

- Introduction à l'histoire de l'acoustique.
- Équation des ondes acoustiques dans les fluides parfaits ou dissipatifs.
- Conditions initiales et conditions aux limites, solutions des équations de propagation.
- Modélisation des sources sonores et champ rayonné : sources élémentaires, fonctions de Green, rayonnement acoustique des structures, théorie de la diffraction.
- Réflexion et transmission aux interfaces.
- Guides d'onde.
- Introduction à l'acoustique non linéaire.
- Diffusion.

Pré-requis. Mécanique des milieux continus (niveau CMI3), Analyse vectorielle, Fonction de plusieurs variables, équation aux dérivées partielles. Il est recommandé d'avoir déjà suivi un cours sur les ondes de niveau CMI3 ou CMI4.

Références bibliographiques.

- Blackstock, D. T., Fundamentals of physical acoustics, Wiley 2000.
- Pierce, A, An Introduction to Its Physical Principles and Applications, Springer 2019.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié de cours et diapositives présentées par l'enseignant.

Compétences développées dans l'unité.

- Connaître le vocabulaire de base en acoustique.
- Savoir modéliser la propagation linéaire des ondes acoustiques
- Savoir modéliser la dissipation des ondes acoustiques
- Connaître les solutions de base de l'équation des ondes (ondes progressives et rétrograde, ondes planes, cylindriques ou sphériques) et savoir poser formellement un problème d'acoustique.
- Savoir modéliser l'effet sur la propagation de la présence d'interfaces ou d'obstacles
- Savoir modéliser le rayonnement de sources (monopôle et dipôle, surface quelconque vibrante).
- Savoir modéliser la propagation en guide d'ondes : mode de propagation, dispersion et notion de fréquence de coupure

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 56 h de cours et TD intégrés. Travail personnel attendu : 70 – 90 h

Évaluation. Un examen écrit de 3 h.

Responsable. M. Q. Grimal

Méthodes expérimentales et projets en acoustique

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5MEAP2 – Mention Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de présenter les méthodes expérimentales les plus utilisées en acoustique.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Trois thèmes à approfondir parmi :

- Imagerie aérienne (AP et AA), utilisation d'antennes de microphones pour former des images acoustiques
- Acoustique du bâtiment (AA), Méthodes de caractérisation acoustique pour le bâtiment : isolation, rayonnement de source, temps de réverbération, modélisation numérique.
- Vibro-acoustique (AP et AA) : instrumentation, identification des caractéristiques modales d'une structure
- Projet en acoustique architecturale (AA), ce thème est destiné à fournir aux étudiants une capacité à intégrer les contraintes acoustiques et les objectifs architecturaux à l'occasion d'une démarche de projet facilitant le futur dialogue ingénieurs -architectes.
- Acoustique ultrasonore (AP) : instrumentation associée aux ultrasons, caractérisation de champs acoustiques linéaires et non linéaire, mise en évidence de la diffraction et de la diffusion.
- Contrôle non destructif (AP). Introduction sous forme de cours, TP et conférences des problématiques du contrôle non destructif.

AA : parcours Acoustique Architecturale

AP : parcours Acoustique Physique

Pré-requis. Fondamentaux en acoustique (CMI5), Capteurs pour l'acoustique (CMI4)

Références bibliographiques.

- L. Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment, Le Moniteur (2013)

Ressources mises à disposition des étudiants. Salle de TP avec matériel, Logiciels de simulation acoustique.

Compétences développées dans l'unité.

- Utiliser du matériel de prise de son,
- Utiliser du matériel pour la mesure en acoustique du bâtiment
- Utiliser du matériel pour la caractérisation du comportement vibro-acoustique des structures
- Utiliser du matériel de base en ultrason,
- Utiliser d'antenne à grand nombre de microphones,
- Pratiquer de façon réfléchie des mesures acoustiques, interpréter des résultats expérimentaux,
- Analyser les erreurs et incertitudes de mesures

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles : 48 heures sous forme de Travaux Pratiques

Travail personnel attendu : 70- 90 heures

Évaluation.

Examen et compte-rendus de TP

Responsable. Q. Grimal

Mise à jour 29/03/2020

Mise à jour 01/03/2020

Traitement du signal et méthodes numériques pour l'acoustique

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5MEAP3 – Mention Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement s'articule autour de deux thèmes : le traitement du signal et les méthodes numériques pour l'acoustique.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Traitement du signal Cet enseignement a été conçu pour s'adresser à des physiciens et des mécaniciens, et non, comme c'est parfois le cas dans cette discipline, comme un cours de mathématiques pures ou de techniques informatiques. Il est constitué de cours-TD et de séances de travaux pratiques.

- Rappels fondamentaux : description spectrale d'un signal à temps continu, à temps discret, échantillonnage temporel et fréquentiel, les diverses transformées de Fourier. La transformée de Hilbert et les relations de Kramers-Kronig : utilisation en physique.
- Systèmes numériques linéaires et invariants, synthèse de filtres numériques dans le cadre de l'analyse des signaux en laboratoire.
- Analyse des signaux aléatoires : techniques de réduction du bruit, détection, estimation classique, estimation paramétrique.

Méthodes numériques pour l'acoustique Les notions introduites en cours seront appréhendées lors de la séance TP par un programme Matlab à développer par l'étudiant.

- Introduction aux différences finies sur l'équation de transport.
- Notions introduites : ordre des schémas, schéma implicite / explicite, stabilité, dispersion et dissipation numérique, quelques schémas standards.
- Application des différences finies à l'équation des ondes 2D.
- Initiation à la méthode des éléments finis.

Pré-requis. Traitement du signal numérique (CMI4), Méthodes numériques (CMI4)

Références bibliographiques.

- Papoulis, Signal Analysis (Papoulis), McGraw-Hill, 1977
- Max et Lacoume, Méthodes et techniques de traitement du signal, 2 tomes, Dunod, 2004.
- F. Cottet, Traitement des signaux et acquisition de données, Dunod, 1997.
- Leveque, Numerical methods for conservation laws, Birkhäuser Verlag, 1992.
- Evrard, Résolution numérique des équations aux dérivées partielles, Masson 1993.
- Dhatt et Touzot, Une présentation de la méthode des éléments finis, Maloine 1984.
- G. Cohen, Higher-Order Numerical Methods for Transient Wave Equations, Springer, 2002.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié de cours.

Compétences développées dans l'unité.

- Autonomie face à la résolution numérique d'un problème scientifique
- Pratiquer les principes de la programmation scientifique et du traitement des données.
- Compréhension des contraintes de l'échantillonnage
- Savoir calculer et interpréter un spectre. Savoir choisir un filtre. Savoir synthétiser un filtre
- Savoir implémenter des méthodes numériques et les apprécier en termes de stabilité, précision, convergence, ...
- Savoir présenter des méthodes et résultats numériques.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles : 36h cours/TD et 28hTP

Travail personnel attendu : 70 – 90 heures

Évaluation.

Pour chaque thème, un examen écrit, un examen de TP

Responsable. A. Derode, F. Coulouvrat

Applications en acoustique

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5MEAP5 – Mention Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de présenter différentes applications de l'acoustique. Les modules proposés ne sont pas tous suivis par les étudiants qui doivent choisir 4 crédits dans la liste présentée dans le contenu.

Contenu de l'unité d'Enseignement.

Ondes en milieux complexes II (1 crédit) : approfondissement de la partie Ondes en milieux complexes de l'UE « compléments en acoustique physique ». Pré-requis : Ondes en milieux complexes I.

Acoustique non linéaire II (1 crédit) : approfondissement de la partie Acoustique non linéaire de l'UE « compléments en acoustique physique ». Pré-requis : Acoustique non linéaire I.

Infrasons et géosciences (2 crédits) : Instrumentation et surveillance des systèmes naturels : « Les infrasons : techniques d'acquisition et application aux géosciences ». Cette UE se propose de présenter aux étudiants les méthodes modernes d'étude des infrasons, depuis les méthodes d'acquisition des signaux, de traitement et d'analyse, ainsi que leurs applications à différentes thématiques des géosciences. Les enseignements seront assurés par des ingénieurs et chercheurs du CEA, organisme qui travaille depuis plus de 40 ans sur cette technologie. Elle est divisée en deux parties principales : la première décrit les méthodes de traitement du signal, de simulation de la propagation et d'interprétation des signaux, la seconde concerne une description complète des systèmes de mesure. Des exemples et travaux pratiques viendront illustrer les exposés. Pour mener ces travaux, les enseignants mettront à disposition des étudiants des équipements de mesure, bases d'enregistrements, logiciels de traitement du signal et de simulation. Compétences visées : donner aux étudiants un aperçu global et une vision transverse sur les techniques de mesures et d'analyse des ondes infrasonores dans les domaines de la surveillance de l'environnement, des sciences de la terre et de l'atmosphère.

Evaluation : projets d'études par binômes proposés en fin de formation (traitement et analyse de signaux / simulation / instrumentation). Ce thème est enseigné par des membres du CEA (commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).

Aéroacoustique (1 crédit) : étude de la propagation et la génération d'ondes sonores dans les écoulements. Équations modèles pour l'acoustique dans des milieux avec écoulements (équation des ondes convectées, équation de Lilley, équations d'Euler linéarisées) Vitesse de phase et vitesse de groupe dans les écoulements. Solutions en milieu libre ou confiné. Introduction à l'acoustique géométrique pour la propagation à grande distance en milieu hétérogène avec écoulement. Théorème de Kirchhoff. Notions de sources en aéroacoustique. Bruit de Combustion Génération de son par les écoulements. Analogie de Lighthill. Application à la réduction du bruit des turboréacteurs. Théorie du "Vortex sound"

Evaluation : examen écrit final

Acoustique médicale (1 crédit) : Imagerie et thérapie par des ondes ultrasonores.

L'objectif est de donner aux étudiants qui suivent un parcours en acoustique physique une formation approfondie sur les applications médicales diagnostiques et thérapeutiques des ultrasons. Le cours s'appuiera sur les notions théoriques abordées lors d'UE de spécialisation et d'approfondissement en acoustique des fluides et des solides et sur les connaissances de l'étudiant en traitement du signal. Seront notamment abordés les principes de formation de l'image échographique, le mode « Doppler », les effets biologiques et l'acoustique non linéaire.

Thèmes abordés : Principes de formation de l'image échographique : interactions ultrasons/tissus biologiques, modes d'imagerie (B, TM, 3D), capteurs, grandes fonctions de l'échographe, focalisation, bruit de speckle, caractéristiques de l'image (résolution, contraste) Vélocimétrie et mode « Doppler ». Application de l'acoustique non linéaire à l'imagerie : imagerie harmonique, produits de contraste. Effets biologiques des ultrasons : échauffement, cavitation, applications thérapeutiques (lithotripsie, hyperthermie), normes de sécurité. Quantification et méthodes avancées : densitométrie osseuse ultrasonore, élastographie

Evaluation : Examen écrit final

Ondes guidées (2 crédits) : Notions générales sur les guides d'ondes.

Modes propres d'un guide d'ondes linéaire, homogène et invariant dans le temps- Vitesse d'un groupe d'ondes- Guide élémentaire - Propriétés du champ élasto-électrique - Grandeurs caractéristiques - Equations du champ - Conditions aux limites- Théorème de Poynting - Bilan énergétique - Lois de comportement d'un solide élastique et piézoélectrique - Matrices des composantes élastiques et piézoélectriques des cristaux -

Ondes élastiques guidées par un ou deux plans parallèles - Décomposition des équations de propagation et des conditions aux limites - Ondes de Rayleigh - Propagation dans un milieu piézoélectrique - Permittivité de surface - Coupleur à réseau Génération par transducteur à électrode en forme de peigne imbriqués Détection - piézoélectrique – optique- Ondes de Lamb - Équation de dispersion de Rayleigh-Lamb - Classification des modes et déplacement mécanique - Ondes transversales horizontales (TH) - Milieu non piézoélectrique (onde TH et ondes de Love) - Demi-espace piézoélectrique (onde de Bleustein-Gulyaev)

Psychoacoustique (1 crédit) : étude de la perception auditive de l'être humain

Connaissances fondamentales de la psychoacoustique : l'anatomie fonctionnelle du système auditif, la perception de l'intensité (sonie), la perception de la hauteur (et dans ces deux cas, les modèles existants), l'organisation auditive, la localisation des sources sonores et le timbre. Pathologies du système auditif.

Aspects méthodologiques de la démarche expérimentale en psychoacoustique (méthodes unidimensionnelles et multidimensionnelles),

Isolation (1 crédit) : étude des principales techniques d'isolation acoustique. Thèmes abordés : - Les sources de bruit et vibrations – Modes de transmission des bruits et vibrations – Réduction des vibrations – Réduction du bruit

Isolation acoustique vis-à-vis des bruits (i) extérieurs : écrans, isolement de façade, traitement des fenêtres et (ii) intérieurs (bruits aériens, bruits d'impact, bruits d'équipements). Intégration de la problématique de l'isolation acoustique dans la conception architecturale et urbaine. Comportement vibroacoustique des parois dans le bâtiment.

Références bibliographiques. Dépend de chaque module

Ressources mises à disposition des étudiants. Dépend de chaque module

Compétences développées dans l'unité

- Connaître le vocabulaire technique associé à une branche particulière de l'acoustique.
- Mettre en œuvre les outils généraux vus dans les unités théoriques.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 12 h par crédit sous forme de Cours et TD intégrés.

Travail personnel attendu : 70 - 90 h.

Évaluation. Une évaluation par module. Le type d'évaluation varie en fonction du module.

Responsable. Q. Grimal

Thématique

Acoustique Physique et Industrielle

Compléments en acoustique physique

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5MEAP6 – Mention Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner les compléments en acoustique physique dans trois domaines spécifiques 1) les ondes en milieux complexes, 2) l'acoustique non linéaire et 3) la propagation dans les solides isotropes et anisotropes.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Ondes en milieux complexes I (OMC)

Par « milieu complexe » on entend les milieux hétérogènes dont la densité et l'élasticité peuvent être modélisée par des fonctions aléatoires. Dans ce cours, tout en conservant le souci d'être proches des expériences, nous présentons aux étudiants les concepts fondamentaux permettant de décrire aussi bien la propagation d'un électron dans un métal contenant des impuretés que d'une onde lumineuse dans un milieu turbide ou d'une onde élastique par exemple dans un acier à grains (application au CND) ou dans la croûte terrestre (applications à la géophysique). Nous étudions les statistiques du speckle (optique ou acoustique) en régime de diffusion simple ou multiple et introduisons en particulier les paramètres de transport (libres parcours moyens, constante de diffusion,...) et les différents régimes de propagation (cohérent, incohérent, localisation faible et forte).

Acoustique non linéaire I (ANL)

L'objectif de ce cours est d'étudier la propagation non linéaire des ondes acoustiques dans les fluides, en accentuant ses aspects physiques. A partir des équations constitutives de l'acoustique, nous établissons l'équation de propagation non linéaire dans un fluide thermo-visqueux. Les solutions en ondes planes sont alors étudiées en détail : équation de Burgers, ondes de choc, interaction non linéaire de deux ondes... Les phénomènes de diffraction affectant la propagation non linéaire sont modélisés à l'aide d'une solution en perturbation dans le cadre de l'approximation de faible non linéarité, ou simulés numériquement à partir de l'équation KZ. A la fin du cours, la propagation non linéaire dans les milieux hétérogènes est abordée par le biais d'exemples

Propagation dans les solides isotropes et anisotropes (solides).

Conditions aux limites. Transport de l'énergie (théorème de Poynting acoustique). Loi de comportement linéaire d'un solide élastique isotrope. Ondes de volume longitudinale et transversale. Réflexion et transmission à une interface liquide-solide, solide-solide. Ondes guidées par une surface libre (ondes de Rayleigh). Ondes guidées par une plaque (ondes de Lamb). Ondes de Love. Représentation d'une grandeur physique par un tenseur. Tenseur des déformations, des contraintes. Loi de Hooke pour un solide élastique et piézoélectrique. Tenseurs des constantes élastiques et piézoélectriques. Réduction du nombre de constantes indépendantes des cristaux. Équation de propagation- de Christoffel. Ondes planes, polarisation, vitesse de phase, vitesse d'énergie. Surface des lenteurs, surface d'onde. Propagation dans un solide piézoélectrique. Coefficient de couplage électromécanique.

Pré-requis. Fondamentaux en acoustique (CMI5), Compléments en acoustique (CMI5), Mécanique des milieux continus fluide et solide (CMI4).

Références bibliographiques.

- M.F. Hamilton, D.T. Blackstock, « Nonlinear Acoustics », Academic Press Inc, 1997.
- D. Royer et E. Dieulesaint, Ondes élastiques dans les solides : Propagation libre et guidée, tome 1, Masson, 1996.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de cours

Compétences développées dans l'unité.

- Modéliser la propagation d'onde élastique dans des milieux complexes
- Modéliser les principaux effets non linéaires en acoustique
- Modéliser la propagation dans les solides
- Mettre en œuvre des stratégies de modélisation permettant de donner une description analytique de phénomènes complexes.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 60 h cours /TD intégrés. Travail personnel attendu : 70 – 90 h

Évaluation. 3 examens écrits sur chacune des parties.

Responsables. A. Derode (OMC), C. Barrière (ANL), F. Descremps (Solides)

Thématique

Acoustique Architecturale et Urbaine

Compléments en acoustique architecturale et environnementale

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU5MEAA1 – **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner des compléments en acoustique architecturale et environnementale.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- *Acoustique des salles*

Bases de la perception sonore de l'espace. Description des phénomènes acoustiques d'une salle. Théories ondulatoire, statistique et géométrique, réponse impulsionnelle. Paramètres objectifs de description d'une salle et leur mesure. Paramètres subjectifs de l'acoustique d'une salle et leur interprétation. Typologie des lieux d'écoute.

Principaux matériaux mis en oeuvre : réflexion, absorption, diffusion du son. Utilisation des méthodes de simulation informatique. L'enseignement s'attachera à montrer que ces aspects techniques s'intègrent dans une démarche architecturale globale lors de la conception des salles pour la parole et pour la musique

- *Acoustique architecturale*

Conventions et représentations architecturales : comprendre l'objet et la matière de l'architecture ; apprendre à voir, à percevoir et à aimer l'architecture. Apprendre à lire l'architecture et à anticiper la vision de l'espace. Lecture et manipulation de plans architecturaux ou urbanistiques. Comprendre la complexité du projet, de sa démarche, de ses objectifs. Structuration et organisation du projet architectural

- *Acoustique environnementale*

Sensibiliser les étudiants aux aspects sciences humaines et sociales de l'acoustique de l'environnement : psychologie, sociologie, mais également géographie et économie. Présenter les hypothèses de base de la cartographie sonore selon la directive européenne, ainsi que leurs limites. Insister sur l'importance du vécu sonore des habitants pour l'expertise et ses métiers, et sur la portée explicative de la notion de territoire pour comprendre la diversité des enjeux relatifs aux projets portant sur les ambiances, l'architecture ou l'urbanisme. Evaluation perceptive et effets du bruit sur l'homme : méthodes, résultats, notion de dose/réponse (psychophysique vs. psycholinguistique). Cartes de bruit relatives à la mise en œuvre de la directive européenne. Ambiances et paysages sonores urbains, conflits locaux en relation au bruit et à son expertise, projets territoriaux d'aménagement et d'urbanisme.

Pré-requis. Les enseignements de spécialité du parcours acoustique de niveau CMI4 et des notions d'acoustique du bâtiment.

Références bibliographiques.

- M. Barron "Auditorium Acoustics and Architectural Design" E & FN Spon, London, 1993.
- L. Cremer, H.A. Mueller "Principles and Applications of Room Acoustics" Vol. 1 et 2, Peninsula Publ. 2016.
- L.L. Beranek "Concert and Opera Halls: Music, Acoustics & Architecture" Springer, 2003.
- M. Forsyth "Architecture & Musique" Pierre Mardaga, Liège, 1987.
- R. Murray Schafer "Le paysage sonore" Ed. Wildproject, 2010.
- J.F Augoyard, H. Torgues "A l'écoute de l'environnement: Répertoire des effets sonores" Ed. Parenthèses, 1995.
- "Le bruit et la ville" Publication du C.E.T.U.R., 1986.
- "Le guide du bruit" Publication du Ministère de l'Environnement, 1986.
- "Burden of disease from environmental noise", WHO, 2012.
- S.E. Rasmussen "Découvrir l'architecture" Ed. du Linteau, Paris, 2002.
- P. von Meiss, "De la forme au lieu, suivi de De la tectonique : une introduction à l'étude de l'architecture", Presses polytechniques et universitaires romandes, 2014.
- Deplazes (sous la dir.) "Construire l'architecture : du matériau brut à l'édifice", Birkhäuser, 3^e éd., 2018.

Ressources mises à disposition des étudiants. Notes de cours/logiciels de base

Compétences développées dans l'unité.

- Connaissances avancées en acoustique architecturale et environnementale
- Utilisation de méthodes de simulation informatique.
- Lecture et manipulation de plans architecturaux ou urbanistiques, compréhension projets
- Sensibilisation aux aspects sciences humaines et sociales de l'acoustique de l'environnement

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 48 h de présentiel. Travail personnel attendu : 70-90 h

Évaluation. 1 évaluation par module, sous forme de projet.

Responsable. J.-D. Polack

Semestre 10

Projet d'approfondissement

Niveau CMI5 - **Semestre** S10 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5EEG04 – **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce projet d'approfondissement vient en complément de la spécialisation et peut prendre différentes formes. Il peut représenter le suivi d'une unité optionnelle de spécialité supplémentaire au semestre S9 pour élargir le socle de connaissances ou bien valoriser une partie bibliographique du stage qui aurait été significative, ou encore être associé à une production scientifique par exemple dans le cadre du stage (présentation dans un colloque scientifique, soumission d'une publication). Il peut également valoriser un investissement associatif important ou encore traduire la validation d'un enseignement sous forme de MOOC (par exemple, un enseignement partagé sur la plate forme European Virtual Exchange du réseau d'universités partenaires de Sorbonne Université Alliance 4eu+ : Université Charles de Prague (République Tchèque), d'Heidelberg (Allemagne) et de Varsovie (Pologne), universités de Milan (Italie) et de Copenhague (Danemark)) . Ce projet est généralement mené de façon individuelle.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Dépendant de la forme du projet

Pré-requis minimum. Les connaissances acquises dans l'ensemble des unités d'enseignement depuis le L1.

Références bibliographiques. Fonction du sujet de projet.

Ressources mises à disposition des étudiants. Fonction du sujet de projet et de son environnement.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité

- Fonction du sujet de projet.

Compétences développées dans l'unité.

- Prendre du recul sur son parcours de formation.
- Savoir gérer un projet personnel avec engagement, le défendre avec conviction.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Travail personnel attendu : 30 - 40 h environ (et souvent plus).

Évaluation. Évaluation généralement sous la forme d'une note du rapport écrit, de soutenance orale et d'implication.

Responsables. Y. Berthaud, H. Dumontet.

Stage de fin d'études

Niveau CMI5 - **Semestre** S10 - **Crédits** 30 ECTS - **Code** MU5MES03 - **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce stage de fin d'études se déroule sur 24 semaines en fin de la formation. L'objectif est de permettre à l'étudiant d'acquérir un comportement d'ingénieur, notamment l'autonomie et la capacité à travailler en équipe avec efficacité dans l'entreprise, en s'appuyant sur les connaissances acquises durant sa formation et les compétences développées dans les activités de mise en situation (projets, et précédents stages). Il consolide la spécialisation et valide ces acquis.

Ce stage peut se dérouler en France ou à l'étranger, en entreprise (généralement des départements de Recherche et Développement de grands groupes industriels) ou laboratoire de recherche (à condition que l'étudiant ait alors une expérience significative de stage en entreprise). Il conduit à la rédaction d'un rapport et d'une soutenance en français ou en anglais. La soutenance est effectuée devant un jury mixte composé de membres de l'équipe pédagogique et d'extérieurs dont l'encadrant en entreprise dans le cas d'un stage en entreprise.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Les responsables de parcours valident la cohérence du sujet, son adéquation avec la spécialité de la formation, avec le projet professionnel de l'étudiant et ses résultats académiques. Ce stage fait l'objet d'une convention de stage signée par l'entreprise / laboratoire, l'université et l'étudiant.

Pré-requis minimum. L'ensemble des connaissances et compétences développées depuis le début du cursus.

Ressources mises à disposition des étudiants.

- Liste et descriptif des sujets de stage antérieurs. Offres de stage.
- Procédures de validation, directives de rédaction, conventions stage.
- Ressources bibliographiques en fonction du sujet.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Propres à chaque stage selon le sujet domaine d'activités de l'entreprise / laboratoire et les missions confiées.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir participer à un travail d'équipe, prendre des initiatives, savoir se situer et acquérir de l'autonomie.
- Savoir mettre en œuvre ses connaissances et les appliquer à un sujet ouvert nouveau.
- Être capable de respecter un cahier des charges, des délais.
- Être responsable de la qualité de son travail.
- Prendre du recul par rapport à son expérience, prendre confiance dans l'insertion professionnelle.
- Savoir communiquer sur son travail à l'écrit et oral.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel. 24 semaines de stage à temps plein entre mars et fin août.

Évaluation. Rapport de stage (/35, une cinquantaine de pages hors annexes), évaluation des tuteurs (/30), soutenance orale (/35, 25 minutes d'exposé, 25 minutes de questions).

Responsables. Responsables des parcours, M. Y. Berthaud et Mme H. Dumontet (responsables du CMI).