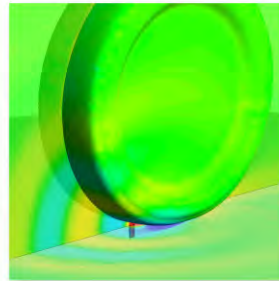
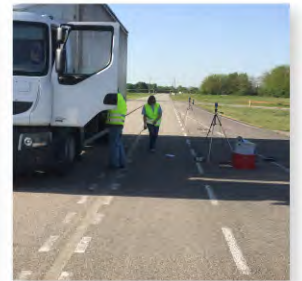
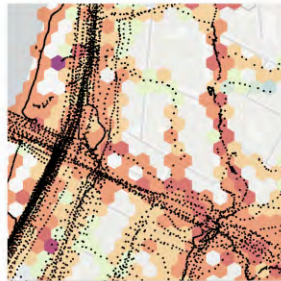


Portfolio

Unité Mixte de Recherche en Acoustique Environnementale (UMRAE)



Réalisé dans le cadre de la campagne d'Évaluation 2024-2025 de l'Hcéres (Vague E)



Sommaire

Introduction	1
Projet Noise-Planet	2
Enseignements et formation	8
Articles	
- Bio-matériaux	11
- Bruit éolien	13
- Bruit ferroviaire	16
- Bruit des véhicules	18
- Les méthodes inverses en acoustique du bâtiment	20
- Bruit et bio-diversité	23



Membres de l'UMRAE lors du séminaire annuel de l'Unité en novembre 2023 à Obernai

Introduction

Dans ce portfolio, nous nous proposons de montrer la diversité de nos activités à travers :

- un **projet phare, "Noise-Planet"**. Ce projet illustre notre engagement dès 2017 dans une démarche "Science Ouverte", portée par les projets NoiseModelling et NoisePlanet, et source d'un fort rayonnement au niveau international, touchant plusieurs communautés : recherche, académique, économique, grand public, collectivités...

- notre implication dans l'enseignement et la formation, largement développée durant la dernière période, notamment dans le cadre de notre implication dans l'accueil des étudiants du Master AETBV (Le Mans Université) et Master MoBi (Université Jean Monnet). Cette activité nous permet de diffuser notre expertise, de valoriser nos outils et de proposer des offres de stage et de thèse. Dans l'avenir, le développement par l'UMRAE d'une formation professionnelle à destination des salariés dans le domaine de l'acoustique environnementale constituerait une perspective intéressante.

- le sujet des **bio-matériaux** (article scientifique), renforcé durant la dernière période par le recrutement d'un nouveau chercheur et de plusieurs doctorants, le développement d'un laboratoire d'essai et le développement de collaborations nationales. L'implication de l'unité porte plus spécifiquement sur l'analyse des propriétés acoustiques des matériaux bio-sourcés, mais également sur d'autres caractéristiques physiques.

- sur le sujet du **bruit éolien** (article généraliste), sur lequel l'unité met aujourd'hui en avant une expertise internationale développée sur une dizaine d'années, se traduisant par de nouvelles avancées scientifiques, l'organisation de campagnes expérimentales d'envergure, des collaborations industrielles pour l'optimisation du fonctionnement de parcs éolien, des actions en appui aux politiques publiques...

- sur le **bruit des véhicules routiers** (article scientifique), sujet largement porté par l'électrification des véhicules, avec un impact aussi bien sur le bruit de roulement que sur le bruit des véhicules. A travers différents projets, nous avons pu mettre en avant notre capacité à réaliser des campagnes expérimentales sur pistes d'essai et à proposer des modèles d'émission qui pourront ensuite être intégrés dans des standards de calcul pour la prévision du bruit routier, comme nous l'avons fait par exemple dans le cadre du projet PLAMADE en appui aux politiques publiques.

- sur le bruit des **véhicules guidés sur rail** (article scientifique), illustration d'un problème scientifique de vibro-acoustique non linéaire d'une grande complexité, qu'il est nécessaire d'aborder par exemple pour réduire le bruit de crissement en courbe des tramways. Ces recherches s'inscrivent dans le cadre d'une longue collaboration avec la SNCF et Vibratec, sous forme de projets, de financements de thèse ou d'expertises.

- sur le développement d'un sujet de recherche sur l'**apport de l'IA** pour la détermination in situ des propriétés acoustiques des surfaces en **acoustique des salles et du bâtiment** (article scientifique). L'article proposé met en avant la collaboration développée avec l'INRIA et l'Université de Strasbourg depuis 2018, qui s'est traduit par l'accueil d'un chercheur et de plusieurs doctorants. Cette dynamique devrait se poursuivre à travers plusieurs nouveaux projets sur ce sujet.

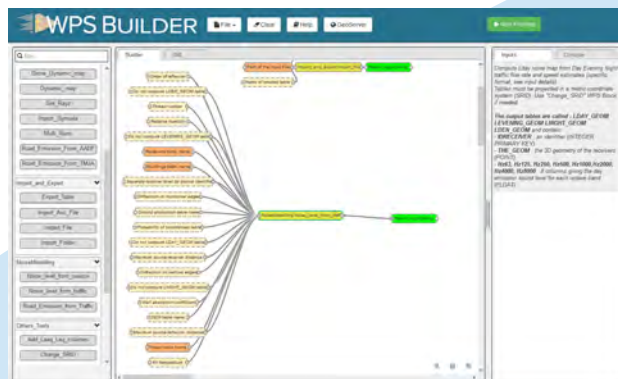
- sur l'impact du bruit sur la **bio-diversité** (article scientifique), notamment les effets des bruits anthropogéniques sur le comportement des cétacés, expertise développée et portée par une chercheuse de l'unité, qui développe son activité scientifique à travers des projets et consortium internationaux, fait régulièrement rayonner l'UMRAE dans les médias, et, à travers son exemple, promeut les carrières scientifiques chez les femmes.

Projet Noise-Planet

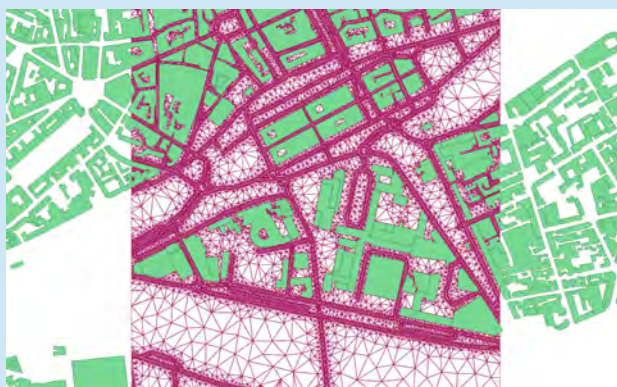
Spécialisée sur la thématique des environnements sonores, l'UMRAE s'est très tôt intéressée à la question de la production de carte de bruit. Ce document, stratégique et exigé pour toutes les collectivités européennes de plus de cent mille habitants, représente via des aplats de couleurs des zones ayant des niveaux sonores équivalents (en décibel - dB).

Historiquement, la production d'une telle carte se faisait via un processus de modélisation, prenant en entrée des données comme le trafic et le réseau routier, les bâtiments, la topographie... La modélisation était alors à opposer à une approche "mesure", basée sur des réseaux de capteurs de référence, disponibles sur quelques collectivités mais en très petits nombres du fait de leur prix élevé.

En 2007, l'UMRAE (alors "Laboratoire d'Acoustique Environnementale - LAE") s'est associé avec des chercheurs en Sciences de l'Information Géographique (SIG) de l'IRSTV (FR CNRS 2488) puis du Lab-STICC UMR CNRS 6285 pour développer un logiciel gratuit et open-source de modélisation du bruit dans l'environnement nommé NoiseM@p (aujourd'hui nommé NoiseModelling). À cette époque, cet outil acoustique était intégré dans un logiciel SIG nommé OrbisGIS (développé par l'IRSTV). Il s'agissait alors d'un travail novateur car il n'existait pas, à ce moment, de tel logiciel intégrant des codes de calcul acoustique au sein d'un outil cartographique, permettant ainsi de croiser des données physiques avec des données géographiques (ex: offrant la possibilité de calculer l'impact du bruit sur la population) (voir illustrations à droite).



Interface graphique de NoiseModelling



Triangulation contrainte de l'espace de travail



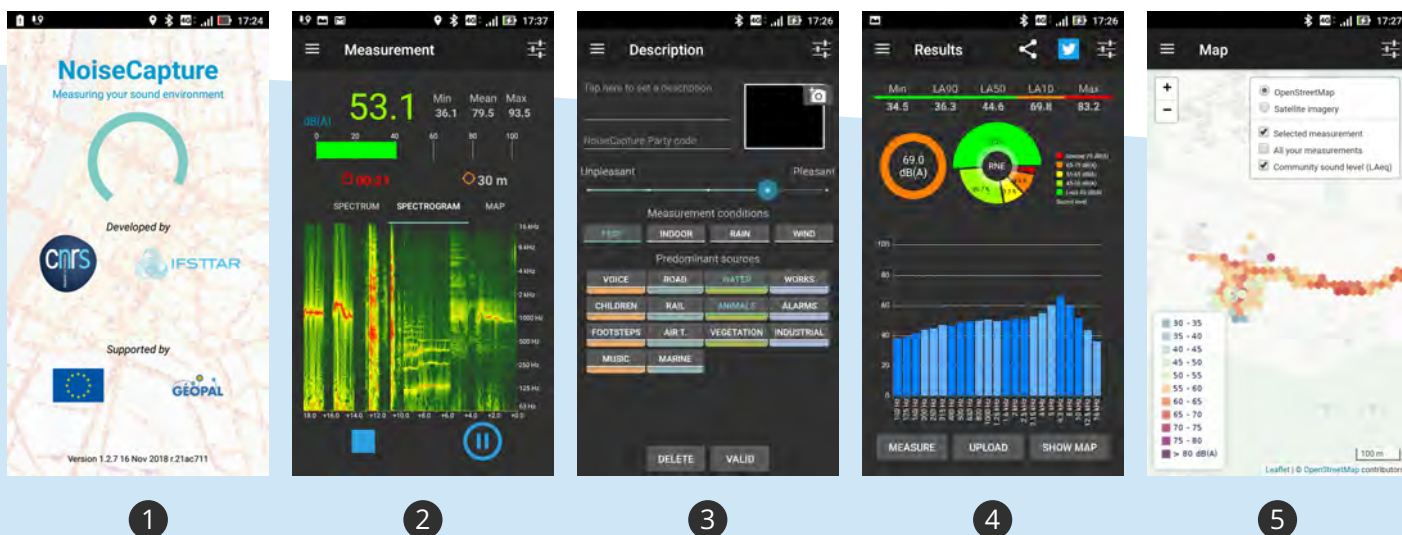
Tir de rayon acoustique en 3D à partir d'un point source



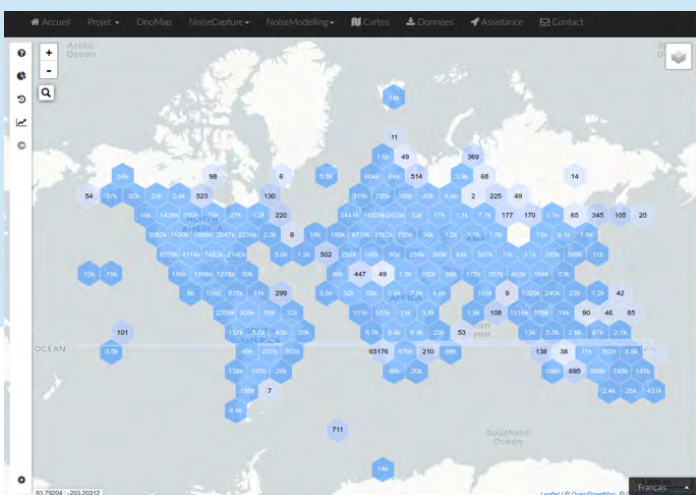
Carte de bruit finale, avec isophones suivant un code couleur normé

En 2015, avec l'émergence des téléphones intelligents (smartphones), l'UMRAE et le Lab-STICC ont vu une opportunité pour travailler sur la question des capteurs bas-coûts et leur capacité à alimenter des modèles de production de carte de bruit. C'est dans ce contexte, et via le projet de recherche européen ENERGIC-OD qui portait sur la thématique des données ouvertes, que l'application NoiseCapture est née.

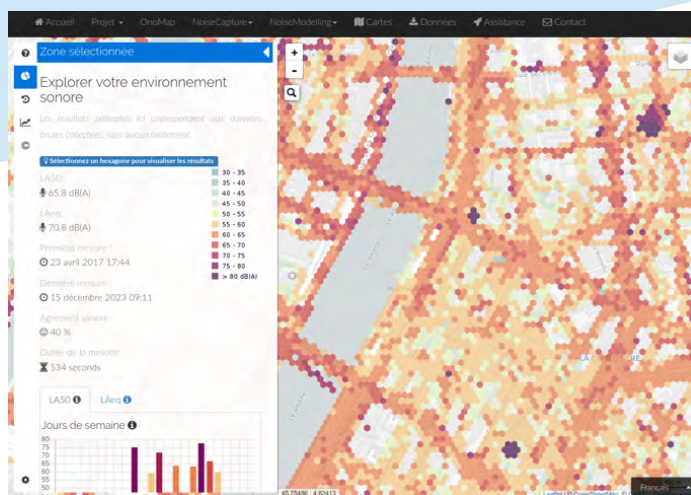
NoiseCapture est une application pour mobile Android, qui permet de mesurer les niveaux sonores dans son environnement de manière collaborative. Grâce au GPS intégré au smartphone, les mesures sont géolocalisées de manière précise, offrant ainsi la possibilité d'alimenter une carte interactive. L'application, ainsi que les données ainsi récoltées par la communauté d'utilisateur, sont fournies librement.




Illustrations de l'application NoiseCapture avec les pages d'accueil (1), de mesure (2), de description (3), de résultats via des graphiques (4) ou bien sur une carte interactive (5)



Carte montrant les mesures NoiseCapture sur le globe

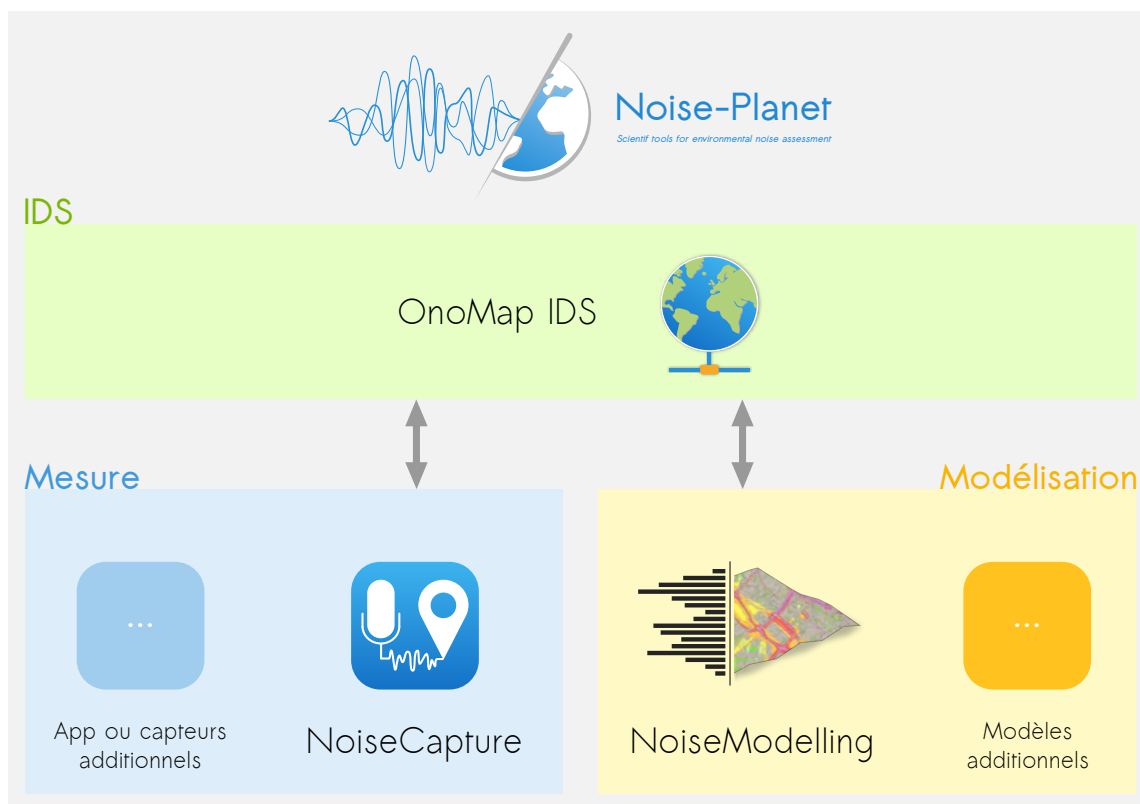


Carte des niveaux sonores mesurés, zoomée sur le centre ville de Lyon (France)


 + 335 000 téléchargements
 + 500 000 mesures
 + 36 000h de mesures

Pour rassembler en un point unique leur travail commun sur la modélisation et la mesure des environnements sonores, l'UMRAE et le Lab-STICC ont créé dès 2017 la plateforme Noise-Planet. Cette plateforme met en lumière les deux outils

NoiseModelling et NoiseCapture mais comporte aussi et surtout toute l'infrastructure qui permet de collecter, contrôler et diffuser des données acoustiques, au premier rang desquelles celles issues de NoiseCapture.



Les trois principales briques de la plateforme Noise-Planet : l'infrastructure de données spatiales (IDS) nommée OnoMap, la partie "Mesure", avec notamment NoiseCapture, et enfin la partie "Modélisation" avec NoiseModelling

Au sein de l'UMRAE, l'initiative Noise-Planet s'avère être un réel vecteur de recherche fédérative. Ainsi, elle permet de faire émerger des sujets innovants comme par exemple l'assimilation de données hétérogènes, le lien entre mesure physique et perception, la reconnaissance de source par méthode d'apprentissage, le couplage des modèles acoustiques avec des simulateurs de trafic, la propagation des sources ferroviaires, ou encore les effets de la végétation sur la propagation ... Des sujets qui mobilisent des chercheurs, ingénieurs et techniciens venant de champs disciplinaires variés, présents sur les trois sites de l'UMR et qui prennent différentes formes.

Citons ainsi :

NoiseModelling :

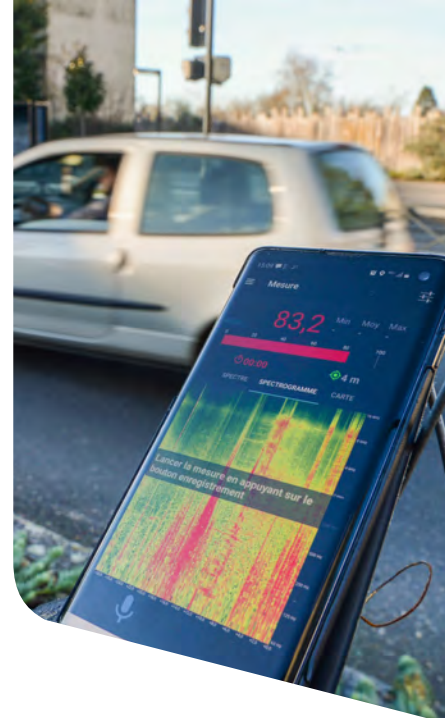
- Recherche : projets ANR SYMEXPO, ANR CENSE, SIREN, thèse sur l'audibilité des sirènes,
- Transfert vers le monde professionnel : PLAMADE, CNOSSOS,
- Enseignement : Master Professionnel Acoustique du Mans.

NoiseCapture :

- Recherche : ANR SonoRezé 2, ANR CENSE, thèse sur la qualité des données,
- Enseignement : ENTPE, Master Professionnel Acoustique du Mans,
- Grand public : à travers de nombreuses manifestations, appelées NoiseCapture Party

Un bon exemple de mutualisation au sein du laboratoire tient dans la publication "*NoiseCapture smartphone application as pedagogical support for education and public awareness*". Dans cet article collectif, plusieurs membres du laboratoire ont montré comment l'application NoiseCapture avait été utilisée à des fins d'enseignement et de sensibilisation aux environnements sonores, notamment auprès d'un public jeune.

Lire l'article



De manière plus générale, et en dehors de l'UMRAE, les outils ainsi proposés servent de nombreuses communautés et sujets. Citons ainsi :

NoiseModelling :

- Académique : KTH Royal Institute of Technology (Stockholm - Suède), Utrecht University (Pays-Bas), Groupe WAVES (Université de Gand - Belgique), Dipartimento di Ingegneria Civile/DICIV (Université de Salerne - Italie), HFT Stuttgart University of Applied Science (Allemagne), University of West Bohemia (République Tchèque),
- Transfert vers le monde professionnel : Archimethod SA (Suisse), OrbiWise (Suisse), Neovya (France), Quiet Places Ltd (Royaume-Uni), Services de l'État français, Centre National d'Incendie et de Secours - CNIS (Luxembourg).

NoiseCapture :

- Académique : Reconnaissance de source (Lire), effet du COVID sur le bruit au Japon (Lire), cartographie collaborative à

l'aide de smartphone durant le confinement, en Inde (Lire), effet du bruit sur des patients subissant des interventions chirurgicales (Lire), intégration des mesures du bruit participative pour la planification urbaine (Lire), données participatives pour l'élaboration de cartes de bruit (Lire),

- Enseignement : essentiellement du secondaire à l'universitaire, où NoiseCapture est intégré dans les cours de physique, acoustique, ... Citons par exemple le "Dipartimento di Ingegneria Civile/DICIV" (Université de Salerne - Italie), ou encore l'Universidade da Coruña (Espagne),

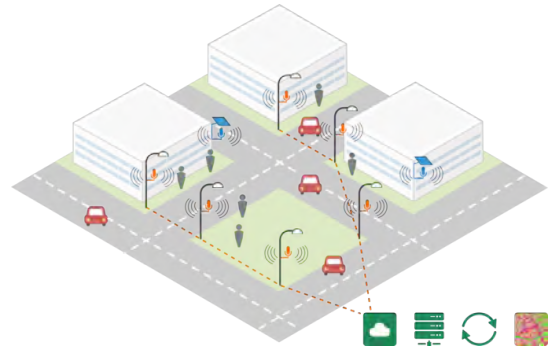
- Grand public : probablement la majorité des contributeurs, qui veulent "simplement" mesurer le bruit autour de chez eux,

- Associations / collectifs, qui souhaitent restituer en carte (et parfois en données) des ambiances sonores (positives ou négatives) sur leur zone d'action.

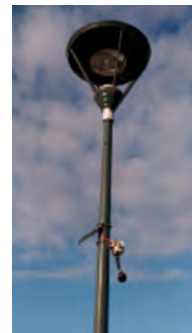


Capteurs bas coûts pour l'observation

Comme vu préalablement, la question des capteurs acoustiques, notamment ceux dits "bas-coûts", est au cœur de la plateforme Noise-Planet. L'UMRAE a développé une expertise en la matière, grâce à NoiseCapture mais aussi à travers des projets de recherche dans lesquels des capteurs, développés par le laboratoire, acquièrent et transmettent en permanence des indicateurs acoustiques sur des serveurs dédiés (projets ANR CENSE et Rail4Earth). Cette expertise acquise par l'UMRAE est ensuite transférée vers des acteurs publics comme "Acoucity - l'Observatoire de l'environnement sonore de la Métropole de Lyon" qui a sollicité l'unité pour déployer un réseau de capteurs de ce type sur son territoire.



Principe de déploiement des capteurs dans le cadre du projet CENSE, à Lorient (France)



Capteur "nœud", alimenté via un panneau solaire et déployé sur des candélabres dans le cadre du projet CENSE



Séance de mesure collaborative NoiseCapture avec des habitants (haut) et Atelier "Définition des actions à mettre en œuvre" avec des habitants et élus (bas), dans le cadre du projet SonoRezé

Science participative

Tirer profit de la force d'un collectif (citoyens, étudiants, associations ...) pour faire avancer un sujet de recherche est devenu chose courante dans le monde académique.

Dans ce contexte, NoiseCapture sert à de nombreuses initiatives de science participative, au sein du laboratoire (comme avec le projet SonoRezé où habitants, élus et chercheurs forment un triptyque travaillant sur les environnements sonores de la ville), mais aussi en dehors, comme avec le projet ETS de l'Université de Sherbrooke, qui s'intéresse au lien entre pollution lumineuse et pollution sonore dans une réserve naturelle ("Setting up light and noise maps to define the contours of a reserve of darkness and silence in Sherbrooke").

CENSE : <https://cense.ifsttar.fr>

Acoucity : <https://www.acoucite.org>

SonoRezé : <https://sonoreze.fr/>

Rail4Earth : <https://cordis.europa.eu/project/id/101101917/fr>

Science ouverte

Depuis sa création, la plateforme Noise-Planet a été pensée comme un moyen de promotion de la science ouverte. Ainsi l'ensemble des outils développés et mis à disposition des communautés d'utilisateurs est diffusé selon les termes de la licence ouverte (GPLv3). En parallèle, les données produites, comme celles issues de NoiseCapture, sont reversées librement, selon les termes de la licence ouverte ODbL).

Enfin, dans la mesure du possible, les publications sont mises à disposition via des journaux en accès ouverts.

En arrière-plan, et pour être cohérent avec la philosophie d'ouverture, l'ensemble des outils permettant de développer, déployer et administrer la plateforme Noise-Planet ainsi que les outils NoiseCapture et NoiseModelling est également open-source. Ce point est important car il offre la possibilité à des utilisateurs voulant transposer l'infrastructure pour leur propre besoin, d'utiliser les mêmes outils et configurations que les nôtres.



Dans ce contexte, en novembre 2023, l'application NoiseCapture s'est vu attribuer le prix "Science ouverte du logiciel libre de la recherche" dans la catégorie "Communauté espoir". Ce prix, organisé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, vient récompenser les efforts de l'UMRAE et du Lab-STICC en matière de diffusion des savoirs, au profit de la collectivité.

Au regard des sollicitations, quasi hebdomadaires à propos de NoiseCapture, NoiseModelling ou plus globalement Noise-Planet, nous constatons que ce choix en faveur de l'ouverture des savoirs est un réel atout. Grâce à cela, les différentes communautés ne rencontrent aucune difficulté à se saisir des outils et travaux de l'unité. En cela, la plate-forme Noise-Planet constitue un formidable vecteur de rayonnement et de communication pour l'UMRAE, au national ainsi qu'à l'international. Le laboratoire bénéficie en effet d'une forte reconnaissance et légitimité sur ce domaine; en témoigne le nombre croissant de sollicitations pour présenter notre démarche "Open-Science" lors de colloques ou séminaires.



Cérémonie de remise du prix, le 29 novembre 2023, en présence de mesdames Claire Giry, Directrice Générale de la recherche et de l'innovation et Sandrine Blazy, professeure en informatique de l'université de Rennes et présidente du Jury

Exploiter les données NoiseCapture : https://noise-planet.org/noisecapture_exploit_data.html

Publications Noise-Planet : <https://noise-planet.org/publication.html>

IDS OnoMap : <https://noise-planet.org/onomap.html>

Liste des lauréats : <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/remise-des-prix-science-ouverte-du-logiciel-libre-de-la-recherche-2023-93732>



Enseignements et formation

L'UMRAE intervient principalement dans la formation de deuxième et de troisième cycle universitaire.

Concernant le deuxième cycle universitaire, la plupart des enseignements dispensés par le personnel de l'UMRAE concernent des formations de niveau master à l'université ou en école d'ingénieurs. L'objectif pédagogique est le plus souvent d'introduire les notions de base en acoustique environnementale et de sensibiliser les étudiants aux enjeux des différents champs de recherche de l'UMRAE. Il s'agit également de transmettre les savoir-faire de l'UMRAE par le biais d'expérimentations spécifiques ou des outils logiciels développés au sein de l'unité (e.g. Noise Planet). Les enseignements sont le plus souvent dispensés localement (e.g. Le Mans Université, ENSIM et Centrale Nantes pour UMRAE Nantes, ENTPE et Master International d'Acoustique de Lyon pour UMRAE Bron, Master MOBI et IUT Schilgtheim pour UMRAE Strasbourg), ce qui d'une part permet aux étudiants de candidater ensuite sur des offres de stages ou de thèses à l'UMRAE et d'autre part de consolider les collaborations avec les laboratoires des établissements hébergeant ces formations.

Focus sur le Master Acoustique – parcours "Acoustique de l'Environnement : Transport, Bâtiment, Ville" de le Mans Université (AETBV)

Dans le cadre du Master Acoustique de l'Institut d'Acoustique – Graduate School (IA-GS), la Faculté des Sciences et Techniques de Le Mans Université propose un parcours Acoustique de l'Environnement : Transport, Bâtiment, Ville (AETBV). Cette formation à vocation nationale aborde les problèmes du bruit des transports, du bâtiment et de la ville sous divers aspects (technologiques, physiologiques, psychologiques, ergonomiques, sociologiques, normatifs, réglementaires, juridiques et stratégiques) et dans un cadre environnemental, en relation

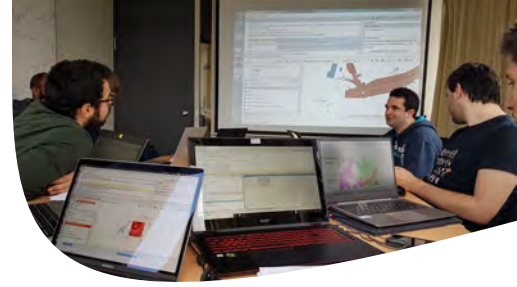
Pour le troisième cycle universitaire, l'UMRAE accueille et encadre sur ses trois sites de nombreux doctorants. Il s'agit alors d'une formation à la recherche par la recherche sur une période d'environ trois ans, sur un sujet doctoral en lien avec le projet scientifique de l'UMRAE. Les doctorants de l'UMRAE sont rattachés aux écoles doctorales SIS et MEGA.

L'UMRAE intervient également de façon plus ponctuelle mais récurrente dans des dispositifs de formation continue à destination de différents acteurs de la société. Ces interventions concernent aussi bien des actions pour le Ministère de la Transition Ecologique (formation d'Inspecteurs d'Installations Classées), des organismes de formation sous tutelle de ce ministère (ENPC-PFE, IFORE, ENTPE), des collectivités locales (Eurométropole de Strasbourg) ou des enseignants du secondaire (Maison Pour la Science en Alsace). Ces actions permettent à la fois de sensibiliser et de former des professionnels à la problématique de l'acoustique environnementale et au rayonnement de l'unité.



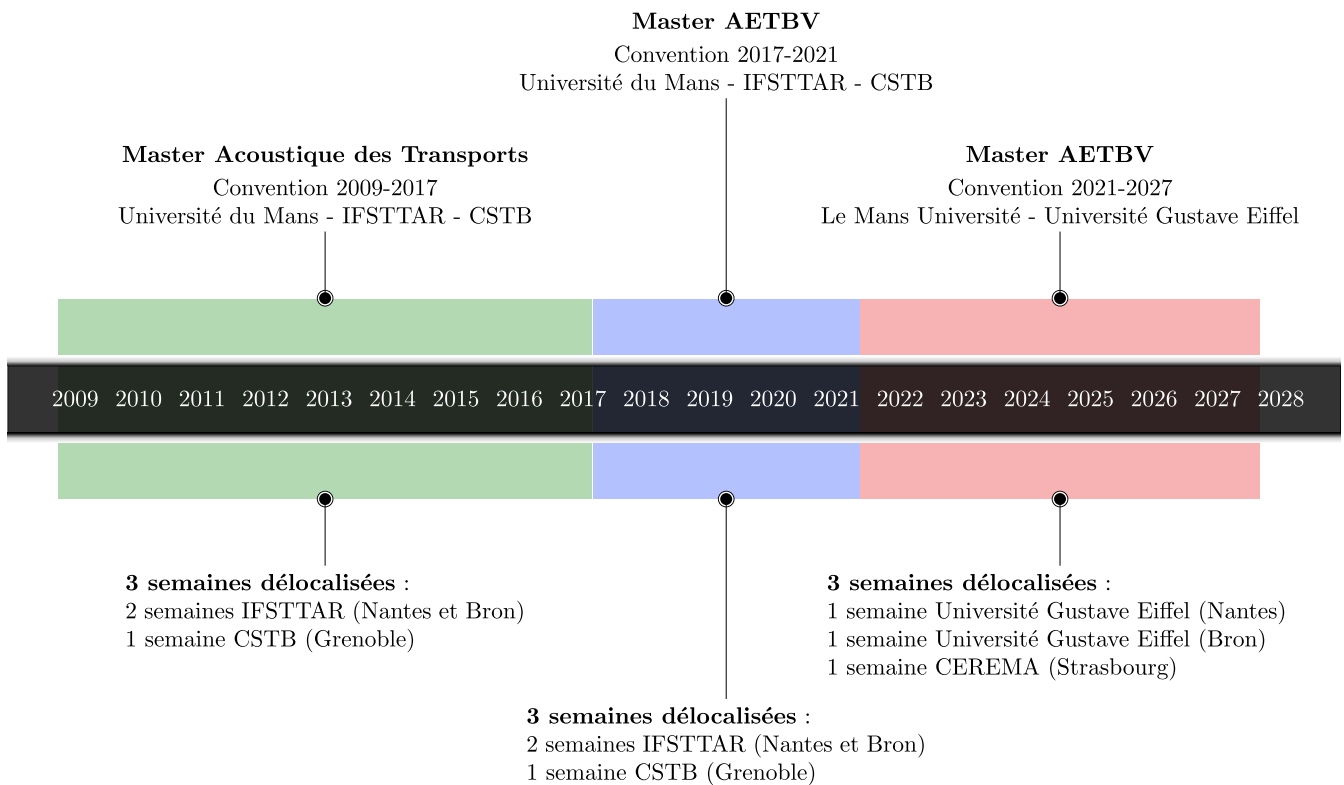
avec les acteurs de la filière (industriels, exploitants, pouvoirs publics et judiciaires, associations).

Le Master AETBV bénéficie d'une convention avec l'Université Gustave Eiffel agissant conjointement avec le CEREMA qui accueille les étudiants pendant 3 semaines pour des enseignements délocalisés, les faisant bénéficier des installations et des compétences des chercheurs et ingénieurs sur les sites de Nantes et de Bron pour l'Université Gustave Eiffel, et sur le site de Strasbourg pour le CEREMA.



L'intervention de l'UMRAE dans ce Master existe de longue date, puisque son prédécesseur, le Master Acoustique des Transports, faisait déjà l'objet d'une convention entre l'Université du Mans, l'IFSTTAR et le CSTB entre 2009 et 2017, qui avait ensuite été renouvelée sur la période 2017-2021 lors de la création du Master AETBV. Le CSTB n'étant plus en capacité de poursuivre son implication, une nouvelle

convention pour la période 2021-2027 a été signée entre Le Mans Université et l'Université Gustave Eiffel. La formation est adossée au LAUM pour Le Mans Université et à l'UMRAE pour l'Université Gustave Eiffel. En plus de la participation de ses personnels aux enseignements, l'UMRAE siège au comité d'action et d'évaluation pédagogique et au conseil de perfectionnement annuel de cette formation.



D'abord limitées aux campus de l'Université Gustave Eiffel à Nantes et à Lyon, depuis l'année universitaire 2023/2024 la troisième semaine délocalisée a lieu au CEREMA à Strasbourg. La formation est donc désormais dispensée sur les trois sites de l'UMRAE. Elle couvre plusieurs thématiques de l'acoustique environnementale : les sources de bruit routier, ferroviaire et aérien, la propagation acoustique, l'acoustique des salles et du bâtiment, la perception et l'impact du bruit, l'estimation des incertitudes, la caractérisation et l'amélioration des environnements sonores, la cartographie du bruit et le bruit des éoliennes.

La formation comprend des cours afin d'acquérir les notions théoriques sur ces différents sujets et des travaux pratiques qui permettent aux étudiants d'acquérir un bagage solide dans le domaine de l'acoustique environnementale.

Depuis 2021, le Master AETBV est ouvert à la formation par alternance et la majorité des étudiants font leur apprentissage en bureau d'étude en acoustique. Cette formation permet donc le transfert des savoir-faire théoriques et expérimentaux de l'UMRAE, ainsi que des outils logiciels développés au sein du laboratoire, vers ce secteur d'activité.

Focus sur le Master MoBI de l'Université Jean Monnet



Le Master international de Bioacoustique (MoBI) a été créé en 2021 à l'Université Jean Monnet de Saint Etienne à l'initiative du Laboratoire de Neuro-éthologie sensorielle (ENES).

Le Master MoBi d'une durée de 1 an offre un programme unique de formation internationale et d'excellence, entièrement dispensé en anglais, et accueille des étudiants français et internationaux issus de divers horizons académiques : acoustique, éthologie, écologie, conservation biologique, évolution, neurosciences, informatique.

Le Master MoBi est destiné aussi aux étudiants souhaitant accéder à une formation doctorale dans les domaines liés à la bioacoustique, mais aussi aux scientifiques (par exemple, les neuroscientifiques, les défenseurs de l'environnement, etc.) et aux consultants en environnement désireux d'intégrer la bioacoustique à leurs compétences.

Depuis sa création, l'UMRAE intervient dans ce Master en tant que co-responsable et formateur du module sur la bioacoustique et impact du bruit sur les mammifères marins (1 semaine par an). Chaque année, des experts nationaux et internationaux sont invités à rejoindre l'équipe de formateurs.



Intervention de l'UMRAE auprès de scolaires, dans le cadre du dispositif "Passport Recherche" soutenu par la Région des Pays de la Loire



Nombre annuel d'heures d'enseignement dispensées par des membres de l'UMRAE

Article scientifique : bio-matériaux

Glé, P., Lecompte, T., de Ménibus, A.H., Lenormand, H., Arufe, S., Chateau, C., Fierro, V., Celzard, A., 2021. Densities of hemp shiv for building: From multiscale characterisation to application. *Industrial Crops and Products* 164, 113390. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113390>



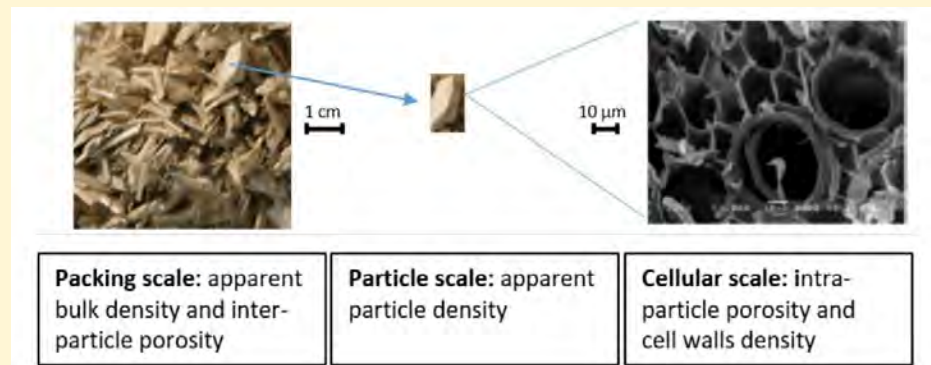
Contexte et problématique

Cet article fait suite au projet Ademe **Ecoterra** (2017-2021)¹ et à des travaux complémentaires menés afin de répondre à des questionnements récurrents autour de l'application des approches micro-macro pour les matériaux biosourcés, ces matériaux étant caractérisés par une spécificité liée aux différentes échelles de porosité existantes, dans le but de remonter à leurs propriétés effectives. Les propriétés investiguées dans ce cadre ne concernent pas seulement l'acoustique mais couvrent aussi les comportements mécanique, hydrique, et thermique dans la mesure où toutes les physiques associées dépendent suivant un

certain degré de la microstructure des matériaux. Le travail a visé plus précisément à :

1. Identifier les meilleures approches permettant de caractériser les porosités et densités caractéristiques de chaque échelle et à appliquer ces dernières aux empilements granulaires biosourcés;
2. Utiliser les données de référence ainsi recueillies pour alimenter des modélisations analytiques permettant de décrire les comportements multiphysiques des matériaux, et les confronter à des données expérimentales.

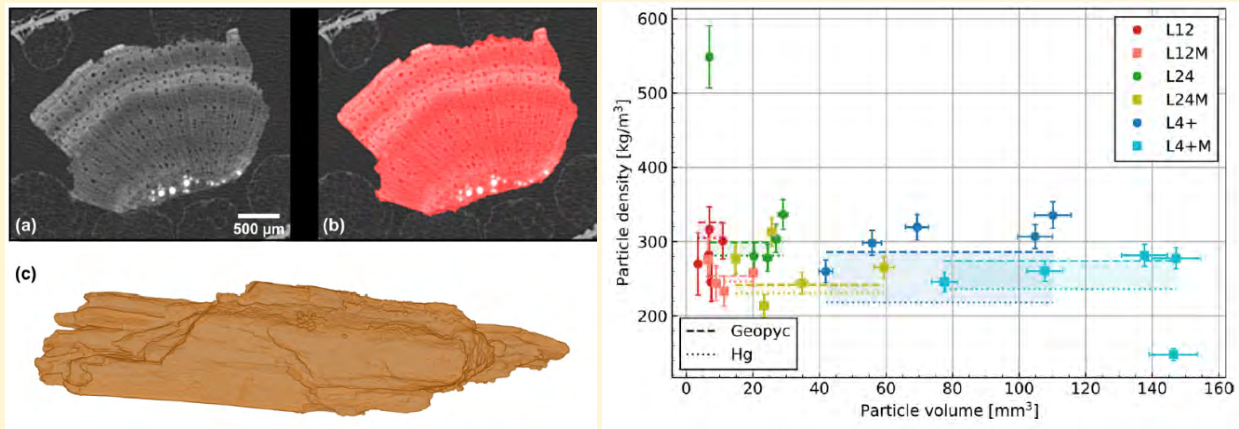
Illustration des différentes échelles d'investigation des propriétés des matériaux biosourcés, cas de la chènevotte (chanvre en vrac)



Originalité de l'approche

Le travail décrit dans cet article a reposé sur une campagne expérimentale de grande envergure, impliquant 6 laboratoires et un grand nombre de dispositifs. La collaboration a ainsi permis de mettre en œuvre des essais croisés afin de confronter les approches pour évaluer les densités et porosités aux différentes échelles, allant des mesures

manuelles très simples à réaliser, à des méthodes plus fines. Des méthodes nouvelles ont pu être testées telles que la pycnométrie 'solide' (utilisation de poudre fine fluide pour saturer les pores interparticules) ou la microtomographie, qui ont permis de déterminer des valeurs de référence des densités apparentes des particules.

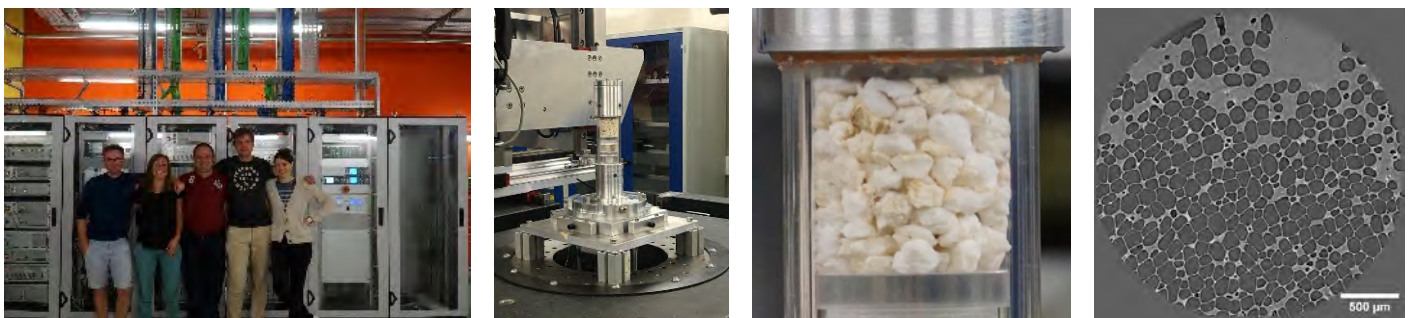


Illustrations des résultats de l'étude avec les coupes et la reconstruction volumique d'une particule à partir de tomographie de laboratoire (gauche) et la comparaison des valeurs de densité apparente de particules issues des différentes approches : Pycnométrie fluide, intrusion mercure et microtomographie (droite)

Collaboration et suites

Pour ce travail, le spectre des partenaires du projet Ecoterra a été étendu au laboratoire Navier de l'École des Ponts pour leurs compétences en microtomographie et traitement d'images ainsi qu'à l'Institut Jean Lamour de l'Université de Lorraine pour un regard complémentaire en matière d'analyse microstructurale et physico-chimique des matériaux.

La collaboration a été fructueuse et s'est prolongée à travers le montage d'une campagne expérimentale au Synchrotron SOLEIL afin d'accéder à des qualités d'image plus satisfaisantes (problèmes du contraste trop faible en microtomographie de laboratoire en raison de la faible densité des échantillons).



Retour en images sur la campagne au Synchrotron SOLEIL avec de gauche à droite, l'équipe de réalisation de la campagne (UMRAE-Navier-IRD-LMDC), le dispositif de mesure en bout de ligne, un exemple de matériau analysé (moelle de tournesol humide), et une vue en coupe associée.

Les résultats de cette campagne sont actuellement en cours d'analyse (Thèse A. Kouakou et PostDoc T. Chekai) pour créer des reconstructions 3D, analyser les caractéristiques des matériaux et confronter des approches analytiques et numériques pour la modélisation du comportement acoustique. Ces analyses sont intégrées au projet Ademe **LOCABATI** (2022-2025) avec une ouverture aux questions hygrothermique et de comportement au feu, suivant

l'hypothèse que tous ces comportements sont intimement liés à la microstructure des matériaux. Cette approche d'ouverture à des thématiques transversales (feu, hygrothermique, etc.) s'applique également à la partie des travaux menés sur les matériaux fibreux, notamment à travers le projet ANR JCJC **BIOMETA** qui débute en janvier 2024 et auquel sont associées les thèses de T. Schatzmayr Welp Sa et de L. Mutel.

Article généraliste : bruit éolien

Evrard, A.-S., Ecotièrre, D., 2023. Effets du bruit des éoliennes sur la santé : mythe ou réalité ? The Conversation. <https://theconversation.com/effets-du-bruit-des-eoliennes-sur-la-sante-mythe-ou-realite-201121>



Cet **article de vulgarisation** publié dans le media The Conversation France présente l'état des connaissances sur l'**impact du bruit des parcs éoliens sur la santé humaine**. Cet article a bénéficié d'une très forte audience (fin 03/2024 : 118 000 vues) constituant ainsi une référence en tant que source d'informations objectives sur un sujet souvent polémique et controversé au sein de la société. Il a de plus permis de présenter plusieurs actions de recherche menées par l'UMRAE ces 10 dernières années sur le bruit des éoliennes.

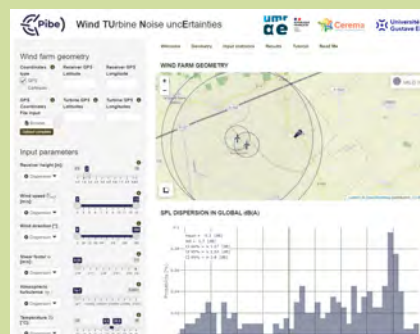
Après avoir présenté les principales spécificités du bruit éolien, puis les phénomènes pouvant être à l'origine des gênes sonores exprimées, cet article expose ensuite les connaissances actuelles sur l'effet du bruit éolien sur la santé humaine et se termine par un aperçu de recherches en cours sur le sujet.

Cet article évoque plusieurs projets de recherche auquel contribue ou que pilote l'UMRAE (PIBE, Cibelius, RIBEoIH ou Eolsomnie).

Mieux connaître les phénomènes physiques pour mieux prévoir les expositions sonores : projet PIBE

Pour progresser vers une meilleure connaissance des phénomènes physiques à l'origine de gêne potentielle auprès de riverains, l'UMRAE pilote le projet **PIBE** qui s'articule en 3 axes : **caractériser et modéliser** les phénomènes de modulation d'amplitude, **estimer la variabilité** des niveaux sonores (en évaluant notamment l'influence de la micrométéorologie locale sur l'émission sonore au niveau des pales et sur la propagation du son), et **concevoir** des systèmes qui minimisent le bruit produit par les pales. Le deuxième axe a donné lieu en particulier à la réalisation d'une **campagne expérimentale d'envergure** sur un parc éolien mettant en oeuvre de nombreux capteurs acoustiques et météorologiques (Lidar Doppler, anémomètres sonic 3D etc), ainsi que la **création d'outils numériques** évaluant la variabilité des niveaux sonores.

Nombre de lectures de l'article



Application **WindTUNE**

<https://www.anr-pibe.com/presentations-videos>

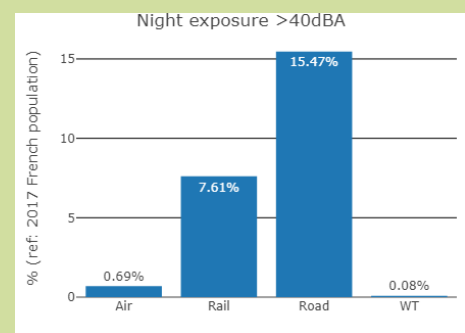
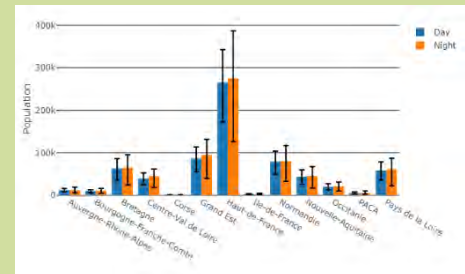
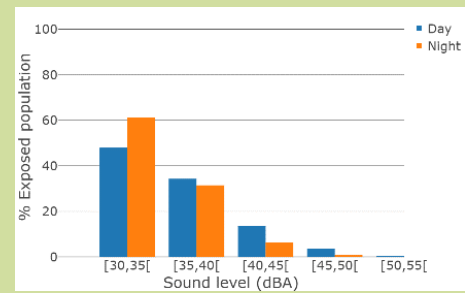
[ANR PIBE : https://www.anr-pibe.com/](https://www.anr-pibe.com/)

Ce projet, réalisé en partenariat avec l'ENSTA, EDF Renouvelable, EDF DTG et l'Ecole Centrale de Lyon, a été le premier projet de recherche collaborative français sur le bruit des éoliennes.

Evaluer l'impact du bruit éolien sur la santé humaine : projets Cibelius, RIBEoIH et Eolsomnie

L'enjeu de santé publique d'un agent physique peut être évalué par le croisement du nombre de personnes exposées à cet agent, et de la sévérité de l'effet de cet agent sur la santé s'ils sont démontrés. Le projet **Cibelius**[2] a permis de montrer dans un premier temps que plus de 80 % de la population exposée l'est à des niveaux sonores modérés inférieurs à 40 dBA, et que la part de la population 2017 de France métropolitaine exposée au-delà de cette valeur était faible comparativement à d'autres sources de bruit environnemental.

Les preuves des effets sur la santé des expositions au bruit éolien étant actuellement soit inexistantes soit de mauvaise qualité, le projet **RIBEoIH** piloté par l'Université Gustave Eiffel a été mis en place avec pour objectifs : i) **évaluer les effets sur la santé du bruit audible, des sons de basse fréquence ou des infrasons** émis par les éoliennes, et mieux comprendre la gêne exprimée par certains riverains ; ii) identifier les mécanismes auditifs associés à la perception des infrasons et des sons de basse fréquence émis par les éoliennes ; iii) mieux connaître les effets des infrasons sur l'oreille interne ou le système nerveux central humains. Pour y parvenir, le projet s'appuie sur une étude épidémiologique menée auprès de riverains de parcs éoliens en France et une étude psychoacoustique et physiologique. Ce projet est complété par le projet **EOLSOMnie** qui se concentre sur les **effets du bruit des éoliennes sur le sommeil** dans le cadre de l'étude épidémiologique du projet RIBEoIH.



Source : Ecotièrre, D., Demizieux, P., Guillaume, G., Giorgis-Allemand, L., Evrard, A.-S., 2022. Quantification of Sound Exposure from Wind Turbines in France. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 23.

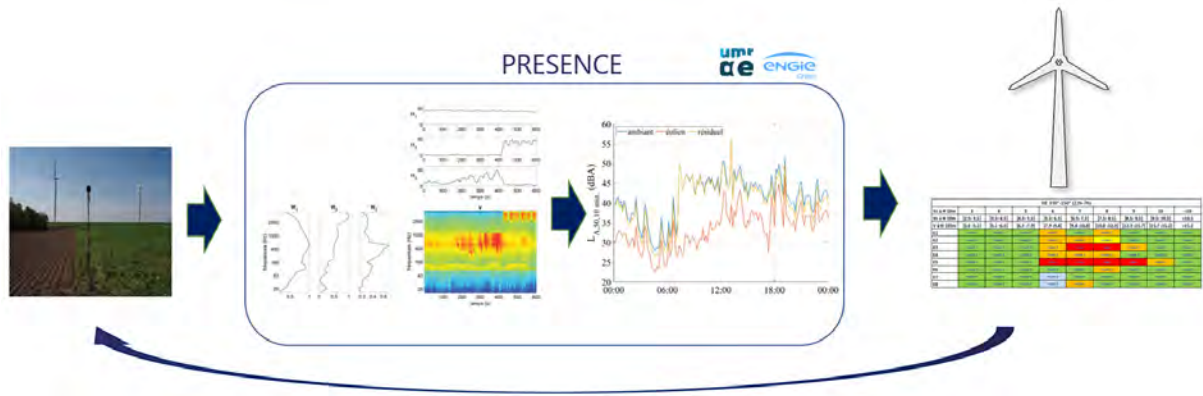
Améliorer la caractérisation expérimentale de l'impact d'un parc éolien

Au-delà de l'étude des effets du bruit éolien sur la santé, l'UMRAE s'est également penchée sur l'amélioration ou le développement de **techniques de caractérisation expérimentale** du bruit de parcs éoliens. On citera par exemple le projet **PRESENCE**, en partenariat avec Engie Green, qui a consisté à mettre au point une méthode d'estimation de l'émergence sonore d'un parc éolien en temps quasi réel, sans recourir à la méthode traditionnelle d'arrêts successifs des machines qui se fait au détriment de la production du parc. Cette méthode a fait appel à la méthode d'apprentissage automatique NMF.



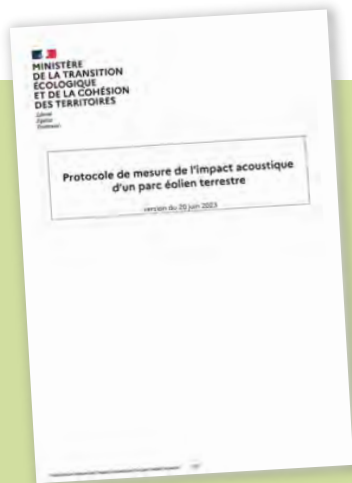
Cibelius : <https://www.cerema.fr/...>

RIBEoIH : <https://ribeoih.univ-gustave-eiffel.fr>

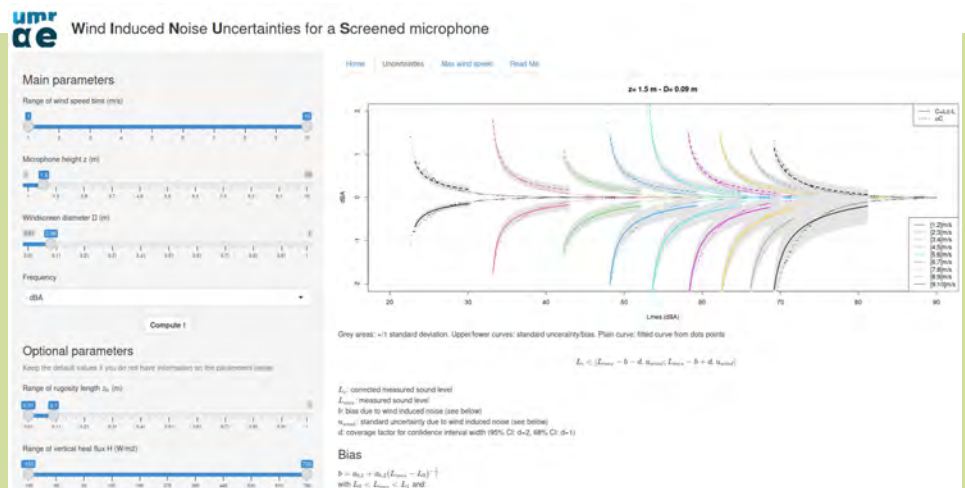


Synoptique de la méthode d'estimation de l'émergence sonore d'un parc éolien par apprentissage automatique (projet PRESENCE)

Un autre exemple concerne la création d'un modèle et la **mise à disposition d'un outil en ligne** pour l'évaluation des incertitudes dues au bruit du vent sur un microphone WINUS, situation courante en contexte éolien ou bien encore la définition et la rédaction pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique de la **méthode réglementaire** d'évaluation expérimentale de l'impact sonore d'un parc éolien.



Lire le **rapport**



Application **WINUS** : incertitudes dues au bruit du vent sur un microphone (<https://cerema-med.shinyapps.io/WINUS/>)

Au-delà de leurs apports scientifiques, tous ces projets et actions sont une illustration des **partenariats inter-organismes ou inter-disciplines** qui ont pu se construire autour de cette thématique entre les spécialistes de la caractérisation expérimentale ou de la modélisation des expositions sonores de l'UMRAE d'un côté et d'épidémiologistes, psycho-acousticiens, chercheurs en santé (sommeil, ORL), aéro-acousticiens, industriels,

bureaux d'étude ou instances de régulations de l'autre. La richesse de ce réseau partenarial et la diversité des approches adoptées démontrent la position d'**acteur de référence** que l'UMRAE a acquise ces dernières années dans le domaine de la recherche et de l'expertise avancée concernant le bruit éolien.

Article scientifique : bruit ferroviaire

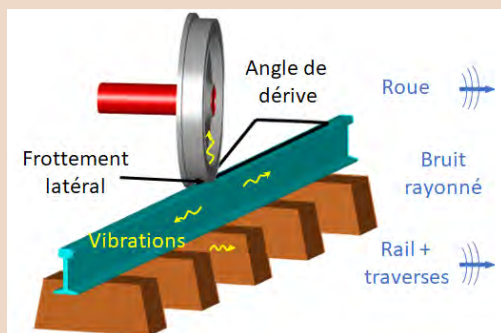
Lai, V.-V., Anciant, M., Chiello, O., Brunel, J.-F., Dufrénoy, P., 2021. A nonlinear FE model for wheel/rail curve squeal in the time-domain including acoustic predictions. *Applied Acoustics* 179, 108031. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108031>



Les travaux présentés dans cet article s'inscrivent dans des recherches visant à réduire le bruit émis par les véhicules guidés sur rail dans l'environnement. La maîtrise de ces émissions passe par une connaissance approfondie des mécanismes de génération des différentes sources.

Comprendre la génération du bruit de crissement : encore un effort !

Le bruit de crissement émis dans les courbes de faible rayon fait partie des sources méritant une attention particulière. Caractérisé par des niveaux sonores élevés et des spectres de raies en moyennes ou hautes fréquences, ce bruit est susceptible de constituer une gêne importante tant pour les riverains que pour les passagers, en particulier en zone urbaine (tramways, métros). Par ailleurs, contrairement au bruit de roulement dont les moyens de réduction sont aujourd'hui bien maîtrisés, le crissement en courbe met en jeu des phénomènes d'instabilités et de vibrations auto-entretenues non linéaires difficiles à modéliser et le dimensionnement de solutions est longtemps resté empirique. Ces phénomènes sont liés aux efforts de frottement latéraux importants induits dans les courbes au niveau des contacts roue/rail.

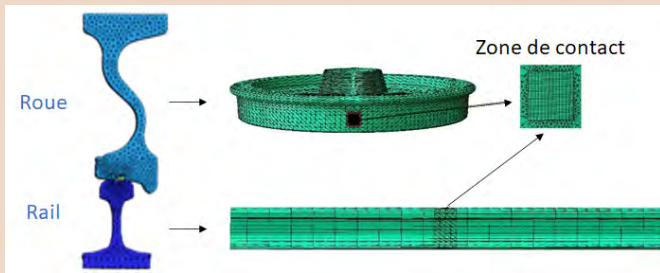


Phénomènes mis en jeu dans la génération du bruit crissement en courbe

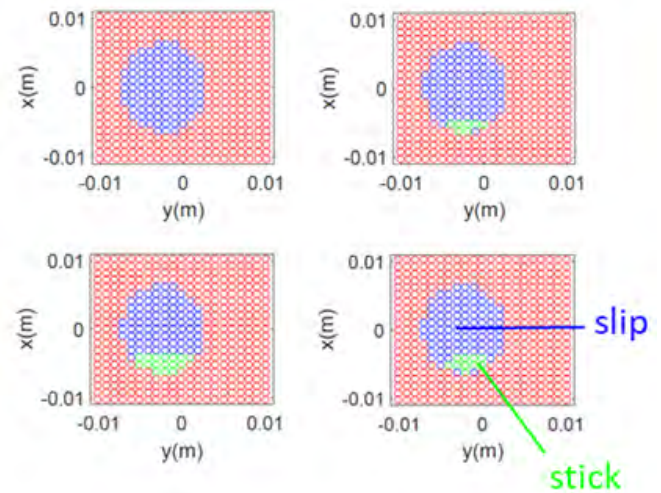
Le développement de méthodes numériques avancées pour la modélisation des vibrations auto-entretenues liées au frottement et leur application à l'étude des bruits de crissement constitue un thème fort des recherches sur le bruit ferroviaire à l'UMRAE. Durant la période, on peut notamment citer la thèse de LAI, des collaborations bilatérales avec le LTDS (Ecole Centrale de Lyon), le LaMcube (Université de Lille) et Vibratex et SNCF, ou enfin le projet ADEME CERVIFER.

Des méthodes numériques avancées

L'article est représentatif de ces recherches : il montre à la fois le niveau avancé des méthodes utilisées et leur potentiel applicatif élevé dans un objectif de réduction du bruit. Par rapport aux travaux existants, les apports méthodologiques sont significatifs. Les structures (roue et voie) sont d'abord modélisées par éléments finis ce qui permet une représentation détaillée des géométries et des complexités structurales. La zone de contact est discrétisée et traitée également par éléments finis ce qui contraste par rapport aux études antérieures. Les performances de calcul sont optimisées grâce à des techniques de réduction originales multi-échelles. Le modèle permet à la fois de mener une analyse de stabilité permettant de prédire l'occurrence du crissement dans le domaine fréquentiel et un calcul de vibrations auto-entretenues permettant de déterminer les niveaux de crissement dans le domaine temporel. In fine, une méthode d'éléments finis de frontière est utilisée pour le rayonnement acoustique des structures.



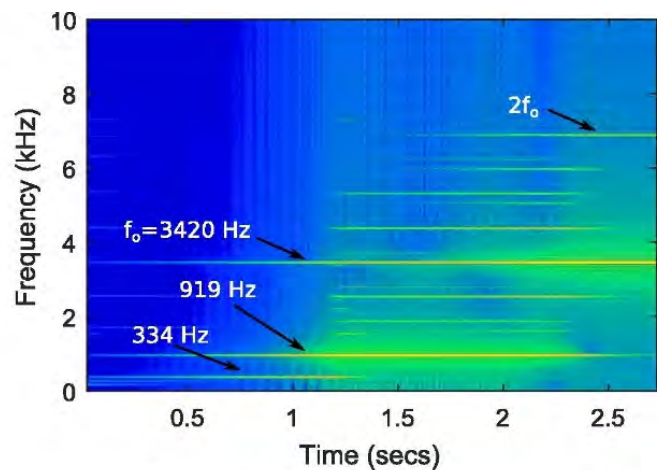
Modélisation des structures et du contact roue/rail par la méthode des Éléments Finis



Évolution des statuts dans la zone de contact

Des phénomènes éclaircis et des leviers pour réduire le bruit

Par ailleurs, les résultats sont nombreux et impactant dans une perspective de réduction du bruit. Plusieurs types d'instabilité à coefficient de frottement constant sont mis en évidence dont une instabilité liée au comportement dynamique spécifique du rail (objet d'un autre article de LAI) et du couplage modal classique. L'évolution des distributions d'efforts dans la zone de contact au cours du cycle limite fait bien apparaître des phases de glissement total et de glissement partiel avec des zones d'adhérence et des pertes de contact sur le contour. Plusieurs phénomènes de compétition modale sont observés dans le transitoire. Une analyse originale des coefficients de frottement local et global est menée ainsi qu'une comparaison avec un modèle de contact ponctuel équivalent. Les effets des paramètres de fonctionnement principaux sont éclaircis comme l'angle de dérive et le décalage du point de contact sur la roue. L'article propose également une caractérisation des fréquences harmoniques dans les spectres vibratoires et acoustiques ainsi qu'une estimation des puissances acoustiques émises par les différentes structures en situation instable (roue/rail/traverses).



Spectrogramme vibratoire et compétition modale

Perspectives

Compte-tenu des progrès réalisés dans la modélisation mis en évidence dans cet article, une phase plus appliquée a débuté en 2024 dans le cadre de la thèse CIFRE de ARANGO (Vibratec). Deux axes de recherche sont envisagés : d'une part un calcul accéléré des vibrations auto-entretenues directement en régime stationnaire et d'autre part une confrontation avec des observations expérimentales sur le réseau de tramway Lyonnais avec une attention particulière portée à la capacité du modèle à bien quantifier l'effet des solutions techniques comme l'amortissement des roues ou la lubrification des rails.

Article scientifique : bruit des véhicules

Cesbron, J., Bianchetti, S., Pallas, M.-A., Le Bellec, A., Gary, V., Klein, P., 2021. Road surface influence on electric vehicle noise emission at urban speed. *Noise Mapping* 8, 217–227. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0017>

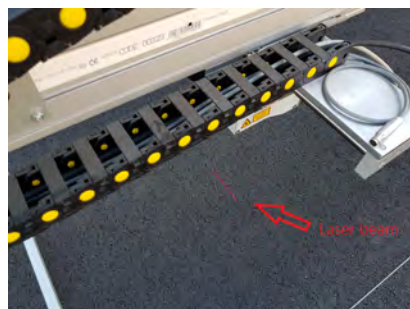


Cet article, publié en open access, présente l'une des actions menées par l'UMRAE dans le projet européen **LIFE E-VIA** (2019-2023). Il a impliqué une collaboration multisite étroite entre les personnels de Nantes et de Lyon-Bron, qui s'inscrit dans la thématique «Sources de bruit dans l'environnement» de l'UMRAE. Il illustre d'une part l'investissement de l'UMR dans l'évaluation de l'émission sonore des véhicules électriques en pleine croissance dans le parc automobile européen, notamment sa composante liée au contact pneumatique-chaussée, et d'autre part les capacités expérimentales multi-physiques de l'UMR et ses collaborations internationales.

L'article établit un état des lieux du bruit émis par 5 véhicules légers électriques (VE) récents, de la gamme petite citadine à la grande familiale, sur 6 revêtements routiers différents incluant le revêtement réglementaire ISO 10844, en conditions réelles. Il fournit explicitement les lois d'émission sonore pour chaque combinaison véhicule/revêtement et documente précisément les expérimentations et les caractéristiques des véhicules et des revêtements. En cela, il constitue un article de référence à disposition de la communauté scientifique recherchant des données d'émission solides dans le contexte de l'électromobilité. L'article se concentre ensuite plus particulièrement sur les vitesses

urbaines et met en évidence l'enjeu du choix d'un revêtement (jusqu'à 6,9 dB(A) entre le moins et le plus bruyant, toutes choses égales par ailleurs), soulignant l'intérêt combiné des propriétés d'absorption et d'une faible texture de chaussée. Actuellement, l'article a déjà été cité 10 fois selon les données de l'éditeur.

Le projet européen LIFE E-VIA, piloté par la Ville de Florence (Italie) et dans lequel s'inscrit la phase expérimentale décrite dans l'article, est un partenariat entre plusieurs organismes italiens (UNIRC, i-POOL, Vienrose), l'Université Gustave Eiffel et le pneumaticien allemand Continental, visant à développer des prototypes de revêtement routier et de pneumatiques optimisés pour réduire le bruit de roulement des VE en milieu urbain, prenant en considération les cycles de vie pour une démarche de développement plus durable. À ce titre, deux versions du prototype de surface routière low-noise dont l'une inclut de la poudrette de caoutchouc, formulées par le partenaire UNIRC, ont été implantées sur les pistes de référence de Nantes pour être qualifiées vis-à-vis de l'acoustique et de l'adhérence, avant leur implantation en site urbain à Florence. L'UMRAE a effectué des campagnes expérimentales conséquentes sur le prototype de Nantes (mesures au passage CPB et en continu CPX, localisation de sources



Article scientifique : Les Méthodes inverses en acoustique du bâtiment

Foy, C., Deleforge, A., Di Carlo, D., 2021. Mean absorption estimation from room impulse responses using virtually supervised learning. *The Journal of the Acoustical Society of America* 150, 1286–1299. <https://doi.org/10.1121/10.0005888>



Une nouvelle collaboration

Dernièrement, des collaborations pérennes ont été mises en place dans le cadre d'une recherche transversale portant sur l'automatisation du diagnostic de salles à réhabiliter. Effectivement, proposer une solution optimale de réhabilitation acoustique nécessite une bonne connaissance des caractéristiques géométriques et acoustiques de l'existant ce qui est rarement le cas. En 2018, une rencontre avec l'Inria (Antoine Deleforge, équipe Tonus, Inria Strasbourg) a fait émerger l'envie de développer des méthodes inverses capables de remonter automatiquement à ces caractéristiques à partir de mesures audio seules (réponses impulsionnelles de salles, RIs), ce qui, à terme ouvrirait la voie au développement d'outils à destination des acousticiens.


Une première collaboration autour d'un stage de Master a été initiée en 2019. Ces travaux et ceux qui ont en découlé, ont fait l'objet d'un congrès international (e-forum Acusticum 2020) puis d'un article ACL (JASA 2021), reposant lui-même sur une base de données présentées dans un autre article ACL (EURASIP 2021).

Nous avons alors cherché à renforcer notre partenariat :

- via une action exploratoire Inria, nommée **Acoust.IA** (2020-2023), ayant permis le financement d'une thèse (2020-2023) et de collaborer avec le laboratoire ICube de l'Université de Strasbourg (Sylvain Faisan, directeur de thèse, équipe IMAGEs),



Reportage France 3 Lorraine du 12/12/2020 :
Présentation du projet de diagnostic d'acoustique des salles "ACOUST.IA" de l'UMRAE et de l'Inria

 <https://youtu.be/BG1P93TtUcc>

- via le projet ANR jeune chercheur **DENISE** finançant une seconde thèse (2021-2024), dirigée par Yannick Privat de l'IRMA de l'Université de Strasbourg, une autre nouvelle collaboration.

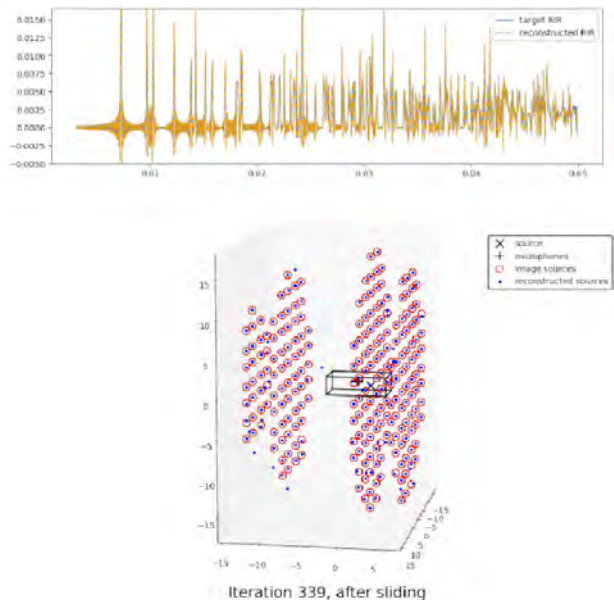
Ainsi, une véritable dynamique de recherche a rapidement été construite. Aujourd'hui, une nouvelle dynamique est recherchée en répondant notamment à l'appel d'offre Horizon projet **AudioCodeConnect**, porté par Maarten Hornik (TUE) mais en s'adressant aussi à d'autres guichets de financement.

Du fait de cette synergie, ce nouveau domaine de recherche a été l'opportunité de développer des approches novatrices, à la fois transversales et plus académiques, en créant des liens avec la communauté du signal (Inria Strasbourg), de l'apprentissage automatique (Icube) et des mathématiques avancées (IRMA).

L'IA pour l'acoustique des salles

Concrètement, ces méthodes reposent toutes sur la minimisation d'une erreur entre une information issue de la mesure sur site et une information théoriquement connue, l'erreur minimale devant permettre d'obtenir les caractéristiques acoustiques et géométrique de la salle. Nos premiers travaux ont cherché à transposer et personnaliser des méthodes d'apprentissages basées sur des réseaux de neurones (CNN, MLP) utilisés dans d'autres domaines. Des résultats encourageants ont été trouvés en retrouvant avec une erreur acceptable l'absorption moyenne par bandes d'octaves (soient 6 inconnues) puis, l'absorption des six parois d'une salle (soient 36 inconnues), au sein de RIs certes simulées mais possédant un certain réalisme (prise en compte d'un bruit ambiant, de la réponse du matériel de mesure, de la diffusion des parois et d'une incertitude sur la géométrie de la salle représentant les erreurs de relevés métriques sur site).

Afin de mieux comprendre l'extraction de l'information recherchée au sein des RIs, nous avons également développer des méthodes d'optimisation plus analytiques, reposant sur un modèle acoustique théorique des sources-images (SIs). Une RI est alors vue comme une superposition d'une multitude de pics possédant une certaine largeur temporelle, chacun provenant d'une source-image. Dans un premier temps, nous avons travaillé à partir de spectrogrammes et cherché à développer des méthodes automatiques capables de privilégier les zones temporelles pertinentes pour extraire l'information recherchée. Trois fenêtrages temporels ont été proposés, l'un basé sur les temps d'arrivée des SIs, l'autre plus probabiliste tenant compte d'une éventuelle incertitude sur ces temps d'arrivée et un dernier plus robuste via la méthode itérative RANSAC. Cette dernière a montré une bonne robustesse au bruit et aux incertitudes géométriques, mettant aussi en évidence l'intérêt de considérer les



Reconstruction d'une distribution de SIs et de la RIR associée à partir de l'algorithme itératif Sliding Frank-Wolfe.

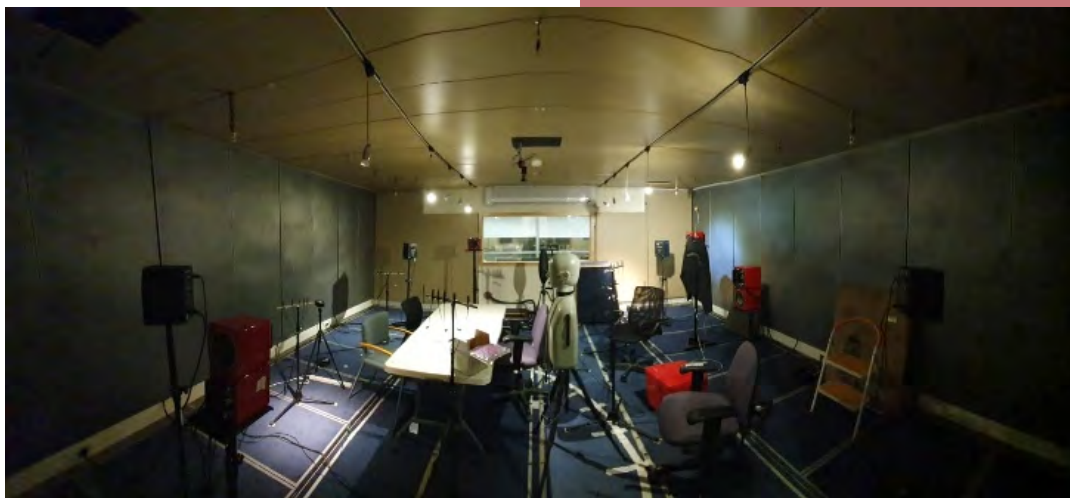
sources images d'ordre deux afin de réduire l'erreur.

Lors de ces travaux, nous nous autorisons à connaître la géométrie, certes avec une incertitude. Nous avons complexifié le problème en souhaitant retrouver l'absorption mais aussi les positions des centaines de SIs existantes dans une RI et ce, sans aucune connaissance a priori sur la géométrie, i.e. à l'aveugle.

Mathématiquement, l'existence d'un opérateur linéaire reliant cette distribution de SIs au champ sonore a été mis en évidence, intégrant la largeur des pics des sources-images et les distances sources-images/microphone, via une fonction non linéaire et non convexe. Théoriquement le problème est un problème d'optimisation non convexe. Il peut toutefois être relâché en un problème convexe (nommé BLASSO) dans l'espace des mesures de Radon en ajoutant un terme de régularisation. Le problème de minimisation est alors résolu via l'algorithme itératif Sliding Frank-Wolfe utilisé dans d'autres domaines de la physique pour le cas de sources spatialement dispersées comme cela est notre cas. Pour la configuration optimale, il a été montré que la plupart des SIs peuvent finalement être retrouvées avec une bonne précision.

En terme de publications, 3 articles ACL ont été publiés dont 2 dans des journaux dédiés au signal (EURASIP, IEEE) et 5 communications internationales ACTI ont été présentées (Speech and Signal Processing, Eusipco).

L'ensemble des travaux réalisés reposant sur des bases de données de RIs simulées, donc contrôlées, il devient maintenant primordial de passer à des bases de données de RIs réelles. En 2022, dans le cadre du projet ANR **Haikus**, nous avons participé à la vaste campagne de mesures à l'Ircam. Par ailleurs, une seconde base de données, **dEchorate**, est aussi à notre disposition. Ces travaux sont à poursuivre.



Acquisition de bases données : (photos du haut) dans le cadre du projet ANR Haikus, campagne de mesures à l'Ircam Paris ; (photo du bas) Laboratoire d'acoustique de l'Université de Bar-Ilan (Israël) liée à la base de données dEchorate

Pour conclure, d'une simple rencontre en 2018, s'est construit, au sein de l'UMRAE, un nouveau pan de la recherche en acoustique du bâtiment ainsi qu'une équipe transversale encore active aujourd'hui et souhaitant poursuivre ensemble. L'histoire continue.

Article scientifique: bruit et bio-diversité

Miller, P.J.O., Isojunno, I., Siegal, E., Kvadsheim, P., Lam, F-P., Curé, C. Behavioral responses to predatory sounds predict sensitivity of cetaceans to anthropogenic noise within a soundscape of fear. 2022. PNAS 119: e2114932119. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2114932119>



L'impact des bruits anthropogéniques sur la faune est une préoccupation relativement récente et ce retard de connaissance est d'autant plus marqué chez la faune marine et en particulier chez les cétacés pour qui la survie dépend presque exclusivement de l'utilisation de signaux acoustiques.

Cet article publié dans PNAS (revue multidisciplinaire de référence) en 2022 porte sur l'évaluation de l'impact d'un bruit anthropique (sonar naval) sur le comportement alimentaire de 4 espèces de cétacés représentatives de 4 grandes familles d'espèces. Ces travaux en bioacoustique marine reposent sur un riche réseau de collaborations (Norvège, Pays-Bas, Etats-Unis, Ecosse), et sont le fruit de nombreux co-encadrements d'étudiants (5 M1, 7 M2, 1 thèse).

Pendant longtemps, les effets des bruits anthropogéniques sur le comportement des

cétacés ont été difficiles à démontrer, en comparaison aux effets sur la faune terrestre. Deux raisons à cela : un manque de technologie efficace permettant de mesurer le comportement de ces animaux qui sont difficilement visibles à partir des bateaux car évoluant sous la surface de l'eau ; et la difficulté à interpréter une modification de comportement en réponse à un bruit comme une « perturbation », qui nécessite au préalable, de connaître leur réaction face à une situation naturelle stressante.

Depuis une vingtaine d'années, le développement de balises munies de capteurs, ventousées directement sur le cétacé, a finalement rendu possible la mesure de leur comportement en quasi-continu, sans nécessité de les suivre visuellement. L'UMRAE possède le savoir-faire dans l'utilisation de ce type de balises (pose et exploitation de données).



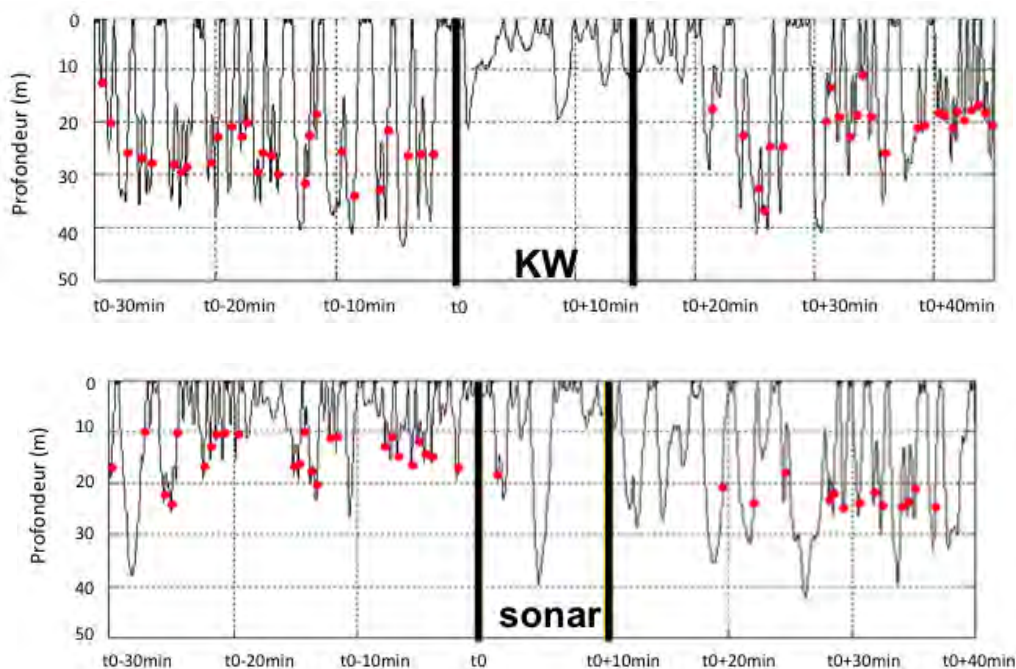
La balise multi-capteurs est déployée par une perche manuelle sur le dos d'une baleine à bosse et maintenue sur le dos de l'animal de manière non invasive au moyen de ventouses en silicone. La balise contient différents capteurs (hydrophones, capteur de pression, magnétomètres et accéléromètres 3D, GPS) permettant d'enregistrer les sons produits et reçus par les animaux, et leurs mouvements.

Les travaux de recherche présentés dans l'article ont été le fruit d'une solide et riche collaboration de recherche internationale avec les Etats-Unis (WHOI), la Norvège (FFI), les Pays-Bas (TNO) et l'Ecosse (SMRU), et rassemble les données collectées au cours d'une dizaine de campagnes en haute mer auxquelles l'UMRE a participé. L'une des principales contributions de l'UMRAE à ce projet a été de développer des concepts méthodologiques innovants pour évaluer et interpréter les effets potentiellement perturbateurs du bruit anthropique sur les cétacés, par comparaison au comportement anti-prédateur.

En combinant les dernières technologies de bioacoustique sous-marine qui allient l'utilisation de balises multi-capteurs et la diffusion de leurre acoustique sous l'eau (expériences de « playback »), l'approche proposée par l'UMRAE a consisté à établir, chez plusieurs espèces de cétacés suivies dans

leur milieu naturel au moyen de balises, un inventaire de leurs réactions comportementales en réponse à la diffusion d'un leurre acoustique stressant représenté par des sons de prédateur. Ces expériences constituent pour chaque espèce un modèle de référence définissant les manifestations d'un comportement « perturbé » qui permet, par comparaison, d'indexer et d'interpréter la signification et le niveau de perturbation des changements de comportement exprimés en réponse à différents bruits anthropogéniques (ex : les sonars), et de prévoir l'impact potentiel à l'échelle des populations.

En se focalisant sur le comportement alimentaire des animaux, l'étude comparative réalisée chez les quatre espèces de cétacés a révélé que l'exposition au bruit (sonar naval) et aux sons de prédateur induit des effets nuisibles similaires, et que le degré de sévérité de ces effets varie selon l'espèce.



Profil de plongée d'une baleine à bosse obtenue à l'aide d'une balise munie d'un capteur de pression. Les points rouges indiquent les moments où elle se nourrit. L'animal arrête de se nourrir en réponse aux sons de prédateur (KW) et en réponse à l'exposition au sonar. De telles émissions prolongées et/ou chroniques pourraient avoir des conséquences nuisibles à l'échelle des populations

En conclusion, ces travaux ont montré que l'étude du comportement anti-prédateur des espèces permet de prédire leur degré de vulnérabilité au bruit.

Ces résultats ont vocation à être transposables à l'étude d'impact d'autres sources de bruit que celle du sonar (ex. bruit de navire, implantation d'éoliennes offshore) et dans différents contextes écologiques (ex. aires de reproduction des animaux). Les retombées de ces résultats ne s'arrêtent pas là puisque qu'ils ont permis de révéler le caractère répulsif de certains signaux bioacoustiques (ex. sons de prédateurs), résultat qui pourra être utilisé dans le développement de dispositifs d'effarouchement sonores innovants pour délocaliser certains groupes d'individus, dans des perspectives de conservation et d'aménagement durables.

L'expertise de l'UMRAE en bioacoustique sous-marine, encore très peu répandue à l'échelle nationale et internationale, est visible et reconnue. L'UMRAE a été sollicitée à plusieurs reprises pour apporter un appui opérationnel et de conseil. Par exemple, elle est intervenue en réponse aux besoins d'aménageurs portuaires comme Haropa Port qui a fait appel à l'UMRAE pour mesurer les niveaux sonores émis par un chantier dans la Seine (battage de pieu), et vérifier les seuils d'impacts potentiels sur plusieurs espèces aquatiques. En outre, l'UMRAE a été également invitée à rejoindre de nouvelles instances tel que le conseil scientifique de l'Observatoire National de l'éolien en mer.



En mai 2022, l'UMRAE a été sollicitée par la préfecture de la Seine maritime pour monter un protocole de diffusion sonore afin de guider acoustiquement une orque égarée dans la Seine et la rediriger vers la pleine mer.

Sur ce sujet, l'UMRAE intervient régulièrement auprès des scolaires (de la maternelle au lycée) en proposant des ateliers découvertes de la Bioacoustique chaque année (2 ou 3 interventions/an).

Les travaux de l'UMRAE en Bioacoustique sous-marine ont été valorisés par de nombreuses actions de vulgarisation (un article dans The Conversation UK, conférences grand publics au MNHN de Paris et à la Cité de la Mer de Cherbourg) et ont fait l'objet de nombreuses sollicitations par les médias parmi lesquels : documentaire ARTE (2020), Interview pour Le Monde (2020), Chronique la Terre au carré sur France Inter (2021), interview pour le journal suisse Le Temps (2021), ...



En juin 2023, l'UMRAE a été invitée par Madame la Présidente de l'Assemblée Nationale Yaël Braun-Pivet pour représenter et promouvoir les carrières scientifiques chez les femmes. Echanges avec les lycéennes de tout horizon et questions/débat animés

 <https://youtu.be/zZBg5ymOEuQ>



*Vidéo de la Fonctaiion de la Vocation
"Immersion dans l'univers de Charlotte
Curé, bioacousticienne, lauréate 2010"*





En savoir plus ?



<https://umrae.fr/>



<https://www.umrae.fr/equipe/direction>

