

Mesure et prédiction automatique de la distance d'une source sonore à l'aide de réseaux de microphones pour la détection d'espèces d'oiseaux

English version below

Thématique principale

Le suivi de biodiversité est un enjeu majeur pour la **préservation des milieux naturels** et pour un **urbanisme à faible impact écologique**. Ce suivi nécessite souvent de faire l'inventaire des espèces présentes. Les méthodes de détection automatique d'espèces à partir d'un enregistrement audio (Suivi Acoustique Passif) se développent mais peinent à être déployées sur le terrain. Cette limitation est due à de nombreux facteurs dont (i) le manque de robustesse des modèles à la distance entre l'animal et le microphone et (ii) l'absence de score de confiance dans la détection du modèle. La thèse vise à pallier ces deux limites en (1) enregistrant des données acoustiques en conditions réelles avec l'information de distance, (2) exploitant ces données pour estimer la distance d'un animal et (3) intégrant la distance dans un score de confiance pour les modèles de détection automatique, dans un contexte de sobriété numérique.

Équipe encadrante: Théo Mariotte (LIUM), Manuel Melon (LAUM), Marie Tahon (LIUM, dir)

Profil recherché: Master Acoustique avec fort intérêt pour le machine learning ou Master Machine Learning avec fort intérêt pour l'acoustique et le traitement du signal.

Contexte et état de l'art

Le suivi de la biodiversité présente des enjeux majeurs tels que la documentation de l'effondrement de la biodiversité, la mise en place d'actions de préservation, la conduite d'études avant travaux ou encore l'apport d'information aux amateurs de nature. Ce suivi s'aligne aussi avec l'objectif **Zéro Artificialisation Nette (ZAN)**¹ visant à réduire la consommation d'espace sur le territoire. Un suivi précis des milieux naturels permet de **sélectionner** les moins sensibles en cas d'artificialisation. Il permet aussi de **documenter** la restauration d'un espace "désartificialisé". Différents acteurs locaux et nationaux (MNHN, CPIE) sont chargés de cette mission de documentation et de préservation.

Bien que nécessaires, les opérations de suivi de biodiversité sur site requièrent l'implication d'un grand nombre d'agents de terrain. Ces missions sont ponctuelles, principalement de jour, empêchant un suivi régulier et précis de la présence d'espèces dans une zone d'étude. Pour pallier cette limitation, les naturalistes déploient de plus en plus de méthodes de suivi automatique pouvant prendre différentes formes [2]. Une option très attractive consiste à placer des **réseaux de microphones** sur les sites d'études, puis à **analyser le signal audio enregistré** afin d'identifier les espèces présentes ou d'extraire des indicateurs écologiques [3]. Cette approche, appelée **Suivi Acoustique Passif (SAP)**, présente de nombreux avantages. Les microphones peuvent capturer des sons multiples, provenant de toutes les directions, dans un large rayon (jusqu'à 100 m). Ces dernières années, de nombreuses méthodes exploitant les **réseaux de neurones artificiels** ont vu le jour pour détecter automatiquement les espèces actives dans un signal audio [5], offrant une perspective encourageante pour l'automatisation des suivis et l'estimation d'indicateurs écologiques. Ces méthodes de détection présentent plusieurs limites comme leur **sensibilité au milieu d'enregistrement** et à la **distance entre la source et le microphone** [6]. Ces modèles manquent également d'un **indicateur de confiance** dans leur détection, rendant leur utilisation délicate dans un contexte d'étude écologique.

Objectifs de la thèse

¹ <https://www.strategie-plan.gouv.fr/zero-artificialisation-nette-des-sols-objectif-2050>, visité le 10/12/2025

L'objectif principal est de **calibrer les modèles** de détection automatique d'espèces afin qu'ils fournissent un **score de confiance dans leurs décisions**. Ce score dépendra de la **distance** de la source détectée. Il est donc nécessaire de pouvoir estimer cette grandeur. La première phase du projet est dédiée à la mise en place d'un **protocole de mesure exploitant des antennes de microphones**, puis à l'acquisition d'un **jeu de données pour la mesure de distance d'une source bioacoustique** en milieu naturel. La deuxième phase consistera à développer et évaluer de **méthodes acoustiques d'estimation la distance** d'une source bio-acoustique. La troisième phase consistera à exploiter **les réseaux de neurones artificiels pour prédire la distance**. Cet estimateur pourra être utilisé pour définir un score de confiance sur les modèles de détection.

Questions de recherche

- ❖ **QR1** : Comment calibrer les modèles de détection d'espèces afin qu'ils retournent un score de confiance sur leur détection en exploitant la distance ?
- ❖ **QR2** : Peut-on estimer précisément la distance source-microphone à l'aide de modèles frugaux en exploitant un microphone seul ?
- ❖ **QR3** : Quelles sont les limites des méthodes de localisation de sources en conditions réelles d'étude bio-acoustique ?

Moyens mis en œuvre dans les laboratoires

L'étudiant·e en thèse sera inscrit·e dans l'[ED MaSTIC](#) et bénéficiera de l'expertise des deux laboratoires afin de mener à bien les objectifs envisagés. Le ou la doctorant·e aura accès à un bureau dans les locaux du LIUM, ainsi qu'aux équipements nécessaires à son travail (ordinateur, écran). Les laboratoires s'engagent à lui fournir les **moyens nécessaires sur fonds propres** (financiers et matériels) pour lui permettre de publier ses travaux dans les conférences et journaux majeurs du domaine.

Le LAUM dispose **d'ingénieur·e-s de recherche** pouvant mettre en œuvre des systèmes d'acquisition acoustique complexes qui seront utilisés pour la campagne de mesures. Cette expertise permettra également de développer des versions du dispositif d'acquisition pouvant être **déployées sur le terrain** en incorporant des microphones digitaux (MEMS) pilotés par des microcontrôleurs programmables. La **chambre anéchoïque** du LAUM sera également utilisée lors de la phase 1 afin de valider le dispositif d'acquisition de données en environnement contrôlé.

Le LIUM dispose d'un **serveur de calcul** permettant l'apprentissage de modèles d'IA. Une équipe technique est disponible pour accompagner l'étudiant·e dans la prise en main de ce service. L'étudiant·e disposera également d'un accès aux **infrastructures de calcul nationale** (Jean Zay) et **régionale** (GLiCID) pour l'apprentissage et l'évaluation des modèles d'apprentissage automatique. Le LIUM collabore avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN) dans le cadre d'un projet ANR. Cette collaboration permettra à l'étudiant·e de **visiter le laboratoire CESCO** du MNHN et d'être en contact avec des écologues.

Pour candidater : déposer CV, lettre de motivation et relevé de notes Master avant le 10 mai 2026 ici : <https://amethis.doctorat.org/amethis-client/prd/consulter/offre/3083>

Informations et contacts: theo.mariotte@univ-lemans.fr et marie.tahon@univ-lemans.fr

Automatic measurement and prediction of the distance to a sound source using microphone arrays for bird species detection

Main topic

Biodiversity monitoring is a key challenge for the **preservation of natural habitats and for low-impact urban planning**. This monitoring often requires conducting an inventory of the species present. Methods for automatically detecting species from audio recordings (Passive Acoustic Monitoring) are being developed but face challenges in field deployment. This limitation stems from several factors, including (i) the models' lack of robustness regarding the distance between the animal and the microphone, and (ii) the absence of a confidence score for the model's detection. This thesis aims to address these two limitations by (1) recording acoustic data under real-world conditions with distance information, (2) using this data to estimate an animal's distance, and (3) incorporating distance into a confidence score for automatic detection models, within a context of computational efficiency.

Supervisors: Théo Mariotte (LIUM), Manuel Melon (LAUM), Marie Tahon (LIUM, dir)

Candidate profile: MsC. in acoustics with strong interests in machine learning and deep learning or MsC. in machine learning with interests in acoustics and audio signal processing

Context and state of the art

Biodiversity monitoring addresses **major challenges** such as documenting biodiversity loss, implementing conservation measures, conducting pre-construction studies, and providing information to nature enthusiasts. This monitoring also aligns with the Net Zero Land Take (NZLT) objective², which aims to **reduce land consumption across the region**. Accurate monitoring of natural habitats allows for the selection of the least sensitive areas in the event of land development. It also enables the documentation of the **natural restoration of an area**. Various local and national stakeholders (MNHN, CPIE) are responsible for this documentation and conservation mission.

Although necessary, on-site biodiversity monitoring operations **require the involvement of a large number of field agents**. These missions are one-off, primarily conducted during the day, preventing regular and precise monitoring of species presence within a study area. To overcome this limitation, naturalists are increasingly deploying **automated monitoring methods** that can take various forms [2]. An highly attractive option involves placing networks of microphones at study sites and then analyzing the recorded audio signal to identify present species or extract ecological indicators [3]. This approach, known as **Passive Acoustic Monitoring (PAM)**, offers numerous advantages. Microphones can capture multiple sounds from all directions within a wide radius (up to 100 m). In recent years, numerous methods utilizing artificial neural networks have emerged to automatically detect active species in an audio signal [5], offering a promising outlook for the automation of monitoring and the estimation of ecological indicators. However, these detection methods have **several limitations**, such as their sensitivity to the recording environment and the distance between the source and the microphone [6]. These models also lack a confidence indicator for their detections, making their use challenging in an ecological research context.

Objectives of the thesis

The main objective is to **calibrate automatic species detection models** so that they provide a confidence score for their decisions. This confidence score will depend on the **distance from the detected source**. It is therefore necessary to be able to estimate this parameter. The first phase of the project is dedicated to establishing a measurement protocol using microphone arrays, followed by the **acquisition of a dataset for measuring the distance to a bioacoustic source in a natural environment**.

² <https://www.strategie-plan.gouv.fr/zero-artificialisation-nette-des-sols-objectif-2050>, visited on 10/12/2025

The second phase will consist of developing and evaluating acoustic methods for estimating the distance to a bioacoustic source. The third phase will involve using **artificial neural networks to predict the distance**. This estimator can be used to define a **confidence score** for detection models.

Research questions

- ❖ **RQ1** : How can species detection models be calibrated to return a confidence score for their detection results based on distance?
- ❖ **RQ2** : Is it possible to accurately estimate the source-to-microphone distance using frugal models with a single microphone?
- ❖ **RQ3** : What are the limitations of source localization methods in real-world bioacoustic research conditions?

Resources in the laboratories

The doctoral student will be enrolled in [MaSTIC Doctoral School](#) and will benefit from the expertise of both laboratories to successfully achieve the proposed objectives. The doctoral student will have access to an office on the LIUM premises, as well as the equipment necessary for their work (computer, monitor). The laboratories are committed to providing the necessary resources from their own funds (financial and material) to enable the student to publish their work in major conferences and journals in the field.

LAUM has research engineers capable of implementing complex acoustic acquisition systems that will be used for the measurement campaign. This expertise will also enable the development of versions of the acquisition system that can be deployed in the field by incorporating digital microphones (MEMS) controlled by programmable microcontrollers. The LAUM anechoic chamber will also be used during Phase 1 to validate the data acquisition system in a controlled environment.

LIUM has a computing server for training AI models. A technical team is available to assist students in getting started with this service. Students will also have access to national (Jean Zay) and regional (GLiCID) computing infrastructure for training and evaluating machine learning models. LIUM collaborates with the National Museum of Natural History in Paris (MNHN) as part of an ANR project. This collaboration will allow students to visit the MNHN's CESCO laboratory and interact with ecologists.

Application: You can submit your application (CV, motivation letter,) on the dedicated platform: <https://amethis.doctorat.org/amethis-client/prd/consulter/offre/3083>

For more information, please contact: theo.mariotte@univ-lemans.fr and marie.tahon@univ-lemans.fr

Bibliography

- [1] S. H. M. Butchart *et al.*, « Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines », *Science*, vol. 328, n° 5982, p. 1164-1168, mai 2010, doi: [10.1126/science.1187512](https://doi.org/10.1126/science.1187512).
- [2] D. Tuia *et al.*, « Perspectives in machine learning for wildlife conservation », *Nat Commun*, vol. 13, n° 1, p. 792, févr. 2022, doi: [10.1038/s41467-022-27980-y](https://doi.org/10.1038/s41467-022-27980-y).
- [3] S. R. P. -J. Ross *et al.*, « Passive acoustic monitoring provides a fresh perspective on fundamental ecological questions », *Functional Ecology*, vol. 37, n° 4, p. 959-975, avr. 2023, doi: [10.1111/1365-2435.14275](https://doi.org/10.1111/1365-2435.14275).
- [4] T. A. Rhinehart, L. M. Chronister, T. Devlin, et J. Kitzes, « Acoustic localization of terrestrial wildlife: Current practices and future opportunities », *Ecology and Evolution*, vol. 10, n° 13, p. 6794-6818, juill. 2020, doi: [10.1002/ece3.6216](https://doi.org/10.1002/ece3.6216).
- [5] R. Schwinger *et al.*, « Foundation Models for Bioacoustics -- a Comparative Review », 2 août 2025, *arXiv*: arXiv:2508.01277. doi: [10.48550/arXiv.2508.01277](https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.01277)
- [6] P. Somervuo, P. Lauha, et T. Lokki, « Effects of landscape and distance in automatic audio based bird species identification », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 154, n° 1, p. 245-254, juill. 2023, doi: [10.1121/10.0020153](https://doi.org/10.1121/10.0020153).
- [7] D. Stowell, « Computational bioacoustics with deep learning: a review and roadmap », *PeerJ*, vol. 10, p. e13152, mars 2022, doi: [10.7717/peerj.13152](https://doi.org/10.7717/peerj.13152).

- [8] E. Verreycken, R. Simon, B. Quirk-Royal, W. Daems, J. Barber, et J. Steckel, « Bio-acoustic tracking and localization using heterogeneous, scalable microphone arrays », *Commun Biol*, vol. 4, n° 1, p. 1275, nov. 2021, doi: [10.1038/s42003-021-02746-2](https://doi.org/10.1038/s42003-021-02746-2).
- [9] D. A. Yip *et al.*, « Sound level measurements from audio recordings provide objective distance estimates for distance sampling wildlife populations », *Remote Sens Ecol Conserv*, vol. 6, n° 3, p. 301-315, sept. 2020, doi: [10.1002/rse2.118](https://doi.org/10.1002/rse2.118).
- [10] R. Schwinger, B. McEwen, V. S. Kather, R. Heinrich, L. Rauch, et S. Tomforde, « Uncertainty Calibration of Multi-Label Bird Sound Classifiers », 11 novembre 2025, *arXiv*: arXiv:2511.08261. doi: [10.48550/arXiv.2511.08261](https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.08261).