

TITRE DU PROJET (limité chacun à 255 caractères)

Vers une évaluation probabiliste et dynamique de la fonctionnalité écologique des habitats par suivi acoustique passif

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : Pantel

Prénom : Jelena

Section CNU : 67

Grade : *Professeur des universités*

HDR : *Date de soutenance 2021 (Équivalent étranger accepté par le CNU 67, Qualification °21167347247), Discipline : Biologie des populations et écologie*

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 16 route de Gray, 25030 Besançon.

jelena.pantel@univ-fcomte.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Chrono-environnement (UMR 6249), UMLP/CNRS, Directrice d'unité : Emilie Gauthier.

Co-directeur de thèse éventuel N°1 :

Nom : Froidevaux

Prénom : Jérémie

Section CNU : 67

Grade : *Maitre de Conférences*

HDR : *non*

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 16 route de Gray, 25030 Besançon.

jeremy.froidevaux@umlp.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Chrono-environnement (UMR 6249), UMLP/CNRS, Directrice d'unité : Emilie Gauthier.

Co-directeur de thèse éventuel N°2 issu du monde socio-économique :

Nom : Leroux

Prénom : Camille

Section CNU : NA

Grade : *Responsable Recherche & Développement*

HDR : *non*

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 149 Rue Joanny Mommessin, 71850 Charnay-lès-Mâcon ; camille.leroux@auddice.com ; 07.56.00.46.27

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Bureau d'études « Auddicé biodiversité », directeur : Louis-Philippe BLERVACQUE

¹ ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu) : UMR Chrono-environnement, Université Marie et Louis Pasteur/CNRS ; thème principal : DYNABIO , thème secondaire : POLLUTION

- nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu :
Jelena PANTEL (HdR), Jérémy Froidevaux et Camille Leroux (co-encadrante issue du monde socioéconomique)

- adresse courriel du contact scientifique : jeremy.froidevaux@umlp.fr

- titre du projet : Vers une évaluation probabiliste et dynamique de la fonctionnalité des habitats par suivi acoustique passif

- description du projet (2 pages maximum)

Les habitats (semi-)naturels assurent pour les espèces des fonctions essentielles, telles que l'approvisionnement en ressources alimentaires, l'offre de refuges, la mise à disposition de sites de reproduction ou la facilitation des déplacements à travers le paysage. La compréhension de ces fonctions habitat-espèce constitue un enjeu central pour la conservation de la biodiversité, dans la mesure où elles traduisent l'utilisation effective de l'habitat par les organismes et leur contribution à la dynamique et à la résilience des populations^{1,2}. Si la notion de fonctionnalité écologique est mentionnée dans plusieurs textes réglementaires du Code de l'environnement français, elle demeure insuffisamment définie et fragmentée, ce qui engendre une ambiguïté conceptuelle et un décalage entre les exigences légales et les méthodes disponibles pour évaluer les fonctions des habitats³. Ainsi, dans les pratiques actuelles de suivi écologique et dans les études réglementaires, ces fonctions restent le plus souvent évaluées de manière indirecte, reposant sur des indicateurs de présence ou d'abondance, sans protocole standardisé permettant de quantifier de manière fiable l'usage fonctionnel réel des habitats.

Dans ce cadre, le suivi acoustique passif (PAM) représente un outil méthodologique particulièrement prometteur. Le PAM permet d'enregistrer l'activité acoustique des organismes sur de larges échelles temporelles et spatiales, offrant une approche non invasive, standardisable et applicable à de multiples taxons^{4,5}. Jusqu'à présent, l'usage du PAM dans les études réglementaires a surtout consisté à détecter la présence ou l'abondance relative d'espèces, mais son potentiel pour documenter la fonction précise de l'habitat pour une espèce donnée reste largement inexploré⁶.

Cette thèse propose de développer un cadre scientifique et opérationnel pour évaluer la fonction des habitats à partir des données issues du PAM. Elle vise à déterminer quelles fonctions peuvent être inférées, à quantifier la variabilité et l'incertitude des indicateurs acoustiques, et à construire des modèles probabilistes et dynamiques capables de prédire l'usage fonctionnel des habitats dans le temps et l'espace. Le projet adoptera une perspective multi-taxa à l'échelle conceptuelle (Chapitre 1), tout en focalisant les travaux empiriques (Chapitre 2) sur les chauves-souris et expérimentaux (Chapitre 3) sur les oiseaux comme taxa modèle. Ce choix est justifié en raison de la relation directe entre l'activité

vocale des ceux taxa et l'utilisation fonctionnelle des habitats (sites d'alimentation ou de transit), ainsi que de la richesse des données disponibles (e.g. données issues des sciences participatives Vigie-Chiro pour les chauves-souris, du projet CUMUL pour les oiseaux). Cette approche reste par ailleurs conceptuellement transposable à d'autres taxons et types d'habitats, permettant d'évaluer de manière opérationnelle la fonction des milieux pour les espèces vocales.

La thèse se déclinera en quatre chapitres :

1. Chapitre 1. Revue de littérature et cadre conceptuel

Ce chapitre propose sous forme de revue de littérature (avec méta-analyse si possibilité) un état des lieux de l'utilisation du PAM pour évaluer les fonctions des habitats pour les espèces animales vocales. La littérature scientifique et la littérature grise seront analysées afin d'identifier les fonctions déjà étudiées, les biais méthodologiques, les limitations taxonomiques et les lacunes. L'objectif est de clarifier les concepts opérationnels liés à la fonction d'habitat, de recenser les indicateurs acoustiques déjà établis pour certains taxons-habitats et identifier les plus prometteurs, et de construire un cadre conceptuel robuste qui servira de référence pour les analyses empiriques et expérimentales.

2. Chapitre 2. Analyse empirique et modélisation probabiliste/dynamique

Ce chapitre constitue la phase empirique du projet, centrée sur les chauves-souris comme taxon modèle. L'objectif est d'évaluer dans quelle mesure le PAM peut fournir des indicateurs fiables des fonctions des habitats. Nous faisons l'hypothèse que certaines métriques acoustiques (durée des séquences d'activité, séquences de chasse identifiables par les patterns d'écholocation) reflètent l'usage fonctionnel des milieux, tels que les sites d'alimentation ou les zones de transit. Les données brutes issues de bases existantes (e.g. Vigie-Chiro) et complétées par des relevés sur le terrain et des mesures de la ressource alimentaire, seront intégrées dans des modèles probabilistes et dynamiques. Ces modèles permettront de quantifier l'incertitude associée aux erreurs de détection et aux variations spatio-temporelles, de produire des prédictions à court et moyen terme de l'utilisation fonctionnelle de l'habitat et d'optimiser l'effort d'échantillonnage (via des analyses de sensibilité visant à identifier les principaux facteurs d'incertitude des prédictions). L'approche intégrée combinant données et ajustement des modèles constitue un outil prédictif et adaptatif (les paramètres du modèle étant flexibles et susceptibles de varier dans le temps et l'espace, les mécanismes sous-jacents n'étant probablement pas fixes ; le modèle pouvant être affiné à mesure que les connaissances progressent), capable d'établir un lien direct entre les paramètres acoustiques et la fonction de l'habitat.

3. Chapitre 3. Validation expérimentale en conditions bruitées

Le troisième chapitre examine la performance des indicateurs acoustiques des oiseaux en conditions de terrain caractérisées par un bruit ambiant élevé, en mettant l'accent sur l'influence du bruit anthropique, considéré comme le principal facteur limitant la détection des signaux acoustiques. Nous faisons l'hypothèse que l'intensité et la fréquence du bruit modulent la détectabilité des métriques acoustiques et, par conséquent, la fiabilité des inférences sur la fonction des habitats. Des protocoles expérimentaux, incluant playbacks et répliques spatio-temporels, permettront de quantifier l'effet du bruit sur la détectabilité et la reproductibilité des indicateurs acoustiques. Nous développerons un modèle corrélatif détaillé de l'incertitude de détection et élaborerons une chaîne d'analyse visant à corriger les sources d'erreur spatio-temporelles. Les travaux du projet CUMUL pourront servir d'exploration préliminaire. Les résultats permettront d'identifier les conditions dans lesquelles les

fonctions des habitats peuvent être inférées de manière robuste et de proposer des recommandations pour des protocoles applicables en contexte réglementaire.

4. Chapitre 4. Synthèse et perspectives opérationnelles

Le dernier chapitre intégrera les résultats empiriques et expérimentaux dans un cadre général de suivi de la fonctionnalité écologique des habitats. Il discutera des applications à d'autres taxons et habitats, de la généralisation des indicateurs acoustiques pour la gestion et la conservation de la biodiversité, et fournira des protocoles standardisés et reproductibles pour l'aide à la décision et les études réglementaires. Ce chapitre permettra de relier avancée scientifique, applicabilité opérationnelle et besoins réglementaires, tout en ouvrant des pistes pour des recherches futures et des suivis adaptatifs.

Références :

1. Van Dyck, H. Changing organisms in rapidly changing anthropogenic landscapes: the significance of the 'Umwelt'-concept and functional habitat for animal conservation. *Evolutionary Applications* **5**, 144–153 (2012).
2. Webb, M. H. *et al.* The importance of incorporating functional habitats into conservation planning for highly mobile species in dynamic systems. *Conservation Biology* **31**, 1018–1028 (2017).
3. Sordello, R., Conruyt-Rogeeon, G. & Touroult, J. La fonctionnalité des continuités écologiques. (2014).
4. Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P. & Jones, K. E. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution* **10**, 169–185 (2019).
5. Hoefer, S., McKnight, D. T., Allen-Ankins, S., Nordberg, E. J. & Schwarzkopf, L. Passive acoustic monitoring in terrestrial vertebrates: a review. *Bioacoustics* **32**, 506–531 (2023).
6. Ross, S. R. P. -J. *et al.* Passive acoustic monitoring provides a fresh perspective on fundamental ecological questions. *Functional Ecology* **37**, 959–975 (2023).

- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

Deux sources de financement différentes permettront de financer la partie recherche du projet. Une provenant du PEPR DYNABIO (PI : Jérémy Froidevaux ; enveloppe totale pour Chrono-environnement de 185,000 €, avec **5000 €** qui pourront être mobilisés directement pour la thèse) et une autre du programme ITTECOP/ADEME (PI : Jérémy Froidevaux, projet CUMUL ; enveloppe totale de 249 035,17 €, avec **5000 à 10 000 €** qui pourront être mobilisés directement pour la thèse). Le matériel acoustique et accessoires associés (batteries, espaces de stockage et d'analyse, etc.), représentant un budget d'environ **65 000 €**, ont déjà été acquis via diverses sources de financement (ZAAJ, ITTECOP, PEPR BIODICAPT) sur la période 2024-2025.

- connaissances et compétences requises

1. Connaissances scientifiques :

- Écologie des populations et des communautés, écologie des habitats et concepts de fonctionnalité écologique ;
- Écologie acoustique et bioacoustique, comportements sonores des taxa cibles (chauves-souris, insectes) ;
- Méthodologie des inventaires faunistiques et suivi écologique standardisé ;
- Statistiques et analyse de données écologiques (analyse multivariée, modèles linéaires généralisés, métadonnées, robustesse des indicateurs) ;
- Concepts réglementaires liés à la biodiversité et aux études d'impact environnemental.

2. Compétences :

- Conception et mise en œuvre de protocoles de suivi acoustique passif ;
- Traitement et analyse de données acoustiques : détection automatique, classification des sons, extraction d'indicateurs ;
- Expérimentation sur le terrain et contrôle des biais ;

- Utilisation de logiciels statistiques et de programmation pour analyses et modélisations ;
- Capacité à synthétiser et interpréter des résultats scientifiques pour des applications opérationnelles.

3. Compétences transversales :

- Lecture critique de la littérature scientifique et synthèse de connaissances ;
- Capacité à travailler à l'interface science/réglementation et à formuler des recommandations pratiques ;
- Gestion de projets expérimentaux et coordination avec différents partenaires ;
- Communication scientifique claire, à l'écrit et à l'oral, en français et en anglais, pour publications et restitution à des acteurs opérationnels et à la communauté scientifique.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Résumé

Les habitats (semi-)naturels remplissent pour les espèces des fonctions essentielles : approvisionnement en ressources alimentaires, refuges, sites de reproduction et corridors de déplacement. L'évaluation de ces fonctions habitat-espèce est essentielle en biologie de la conservation, car elle reflète l'utilisation réelle des milieux par les organismes et permet de comprendre les conséquences de la perte ou de la dégradation des habitats, principal moteur du déclin de la biodiversité. Pourtant, dans les suivis écologiques et études réglementaires, ces fonctions restent le plus souvent évaluées indirectement, via des métriques de présence ou d'abondance d'espèces, sans protocole standardisé et cadre conceptuel clair. Dans ce cadre, le suivi acoustique passif (PAM) offre un outil prometteur : non invasif, standardisable et applicable à de multiples taxons, il permet de mesurer l'activité acoustique sur de larges échelles spatiales et temporelles.

Cette thèse propose de développer un cadre scientifique et opérationnel pour évaluer la fonction des habitats à partir des données PAM, en quantifiant l'incertitude des indicateurs et en construisant des modèles probabilistes et dynamiques capables de prédire l'usage fonctionnel dans l'espace et dans le temps. Le projet vise à adopter une perspective multi-taxa à l'échelle conceptuelle, tout en focalisant les travaux empiriques et expérimentaux sur les chauves-souris et les oiseaux comme taxa modèles, en raison du lien direct entre leur activité vocale et l'usage fonctionnel des habitats (alimentation, transit, repos), et de la richesse des données disponibles (Vigie-Chiro, CUMUL). La méthodologie comprend : (i) une revue de littérature pour clarifier les concepts et identifier les indicateurs acoustiques prometteurs, (ii) des analyses empiriques et modélisation probabiliste/dynamique pour relier métriques acoustiques et fonctions des habitats et optimiser l'effort d'échantillonnage, (iii) une validation expérimentale en conditions bruitées, et (iv) une synthèse pour généraliser l'approche à d'autres taxons et habitats et fournir des protocoles standardisés pour la conservation et les études réglementaires.

Summary

(Semi-)natural habitats provide essential functions for species, including food resources, shelter, breeding sites, and movement corridors. Assessing these habitat-species functions is critical in conservation biology, as it reflects the actual use of habitats by organisms and helps understand the consequences of habitat loss or degradation, a major driver of biodiversity decline. Yet, in ecological monitoring and regulatory studies, these functions are often assessed indirectly, using species presence or abundance metrics, without standardized protocols or a clear conceptual framework. In this context, passive acoustic monitoring (PAM) offers a promising tool: non-invasive, standardizable, and

applicable to multiple taxa, it enables the measurement of acoustic activity over broad spatial and temporal scales.

This thesis aims to develop a scientific and operational framework to evaluate habitat functions from PAM data, by quantifying the uncertainty of indicators and constructing probabilistic and dynamic models capable of predicting functional habitat use across space and time. The project adopts a multi-taxa perspective conceptually, while focusing empirical and experimental work on bats and birds as a model taxa, due to the direct link between their vocal activity and functional habitat use (foraging, commuting), and the richness of available data (Vigie-Chiro, CUMUL). The methodology includes: (i) a literature review to clarify concepts and identify promising acoustic indicators, (ii) empirical analyses and probabilistic/dynamic modeling to link acoustic metrics to habitat functions and optimize sampling effort, (iii) experimental validation under noisy field conditions, and (iv) a synthesis to generalize the approach to other taxa and habitats and provide standardized protocols for conservation and regulatory applications.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous :

2 choix possibles maximum –les intitulés sont ceux d’ABG),

Ex : vous ne pouvez pas sélectionner uniquement informatique lorsqu’il est indiqué informatique, électronique :

- Ecologie, Environnement

Indiquez quelques mots clés concernant votre sujet) :

Bioacoustique, Bruit anthropique, Chiroptères, Détection imparfaite, Fonctionnalité écologique, Modélisation inférentielle et prédictive, Nouvelles technologies, Suivi de la biodiversité.