

PROGRAMME INTITUTS ET INITIATIVES

Appel à projet - campagne 2021

Proposition de projet de recherche doctoral (PRD)

MSTD - Maîtrise des syst tehnno durables

Intitulé du projet de recherche doctoral (PRD):

Détection de nids de frelons asiatiques par imagerie **A**coustique
embarquée sur un **D**rone **A**utonome (DADA)

Directeur.rice de thèse porteur.euse du projet (titulaire d'une HDR) :

NOM : **Chazot**

Prénom : **Jean-Daniel**

Titre : Maître de Conférences des
Universités ou

e-mail : jean-daniel.chazot@utc.fr

Adresse professionnelle : Laboratoire Roberval
(site, adresse, bât., bureau) UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE
Rue du docteur Schweitzer CS 60319,
60203 COMPIEGNE Cedex France

Unité de Recherche :

Intitulé : Laboratoire Roberval

Code (ex. UMR

xxxx) :

École Doctorale de rattachement de l'équipe ED71 - Sciences pour l'ingénieur UTC
(future école doctorale du.de la
doctorant.e) :

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e directeur.rice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) :

3 doctorants en 2^{ème} année (1^{ère} inscription en 2019) : N. Bin Fazail en cotutelle à 50%
avec N. Atalla (Canada) ; A. Berthet à 50% avec E. Perrey-Debain ; Y. Tadjou à 50% avec
E. Perrey-Debain

1 doctorant en 3^{ème} année (1^{ère} inscription en 2018) : C. Langlois (soutenance fin 2021)

2 doctorants en 4^{ème} année (1^{ère} inscription en 2017) : N. Abdelnour à 50% avec V.
Lanfranchi (en fin de thèse CIFRE) et H. Issa à 30% avec F. Druésne et J. Hallal
(soutenances prévues au printemps 2021)

Co-encadrant.e :

NOM : **Ollivier** Prénom : **François**
Titre : Maître de Conférences des HDR
Universités ou
e-mail : francois.ollivier@sorbonne-universite.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Institut d'Alembert (équipe MPIA)
Code (ex. UMR xxxx) : UMR 7190

École Doctorale de rattachement : ED391-SMAER
Ou si ED non Alliance SU :

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.ice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) :

Nb de doctorants : 1 à 50%
1ere inscription : janvier 2020

Co-encadrant.e :

NOM : **Castillo** Prénom : **Pedro**
Titre : Chargé de Recherche ou HDR
e-mail : pedro.castillo@utc.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Heudiasyc
Code (ex. UMR xxxx) : UMR-CNRS 7253

École Doctorale de rattachement : ED71 - Sciences pour l'ingénieur UTC
Ou si ED non Alliance SU :

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.ice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) :

- Alexis Offermann - date soutenance mars 2021 - 50% co encadré avec J. De Miras - (1ère inscription : Novembre 2017)
- Cristino de Souza - date soutenance mars/avril 2021 - 50% co encadré avec B. Vidolov - (1er inscription : Décembre 2017)
- Julio Betancourt - date soutenance avril/mai 2021 - 50% co encadré avec R. Lozano - (1ère inscription : Octobre 2017)
- Armando Alatorre - 1ère inscription : février 2021. - cotutelle avec le Mexique – 50%

Cotutelle internationale : Non Oui, précisez Pays et Université :

Selon vous, ce projet est-il susceptible d'intéresser une autre Initiative ou un autre Institut ?

Non Oui, précisez IBEEES - Initiative Biodiversite Evol Ecolo Société

Description du projet de recherche doctoral (en français ou en anglais) :

Ce texte sera diffusé en ligne : il ne doit pas excéder 3 pages et est écrit en interligne simple.

Détailler le contexte, l'objectif scientifique, la justification de l'approche scientifique ainsi que l'adéquation à l'initiative/l'Institut.

Le cas échéant, préciser le rôle de chaque encadrant ainsi que les compétences scientifiques apportées. Indiquer les publications/productions des encadrants en lien avec le projet.

Préciser le profil d'étudiant(e) recherché.

Le frelon asiatique (*Vespa Velutina*) fait partie de la liste réglementaire des 26 espèces exotiques envahissantes animales préoccupantes pour l'Union européenne. Arrivé en France en 2004, il est maintenant implanté dans toutes les régions et dans plusieurs pays d'Europe. Nuisible et dangereux, il menace les écosystèmes et la biodiversité¹, les activités liées à l'apiculture^{2,3}, et les activités agricoles liées à la pollinisation⁴. Pour endiguer cette menace, nous proposons de développer une méthode dynamique de détection des nids de frelons asiatiques pour pouvoir les éliminer le plus tôt possible. Actuellement peu de moyens efficaces permettent de détecter les nids de frelons au printemps. Le hors-série de février 2020 de la revue Abeilles et Fleurs en recense quatre : la méthode visuelle de repérage par appât et triangulation (efficacité aléatoire, et uniquement sur terrain découvert); la radio-télémetrie [1] (efficacité prometteuse, coût abordable 2200€ + 150€ par balise, mais nécessite une phase d'apprentissage du frelon, et de pouvoir suivre au sol le frelon); le radar harmonique (résultats inégaux, mais coût prohibitif 120 k€); la détection thermique (inefficace).

L'idée ici est de concevoir un drone équipé d'un système d'imagerie acoustique basée sur des capteurs miniaturisés, capable de suivre de façon autonome des frelons eux mêmes équipés d'un émetteur sonore miniature. Le suivi d'un frelon par imagerie acoustique embarquée sur drone autonome permettrait d'automatiser la détection, resterait avec un coût limité, et pourrait être utilisée sur n'importe quel terrain (boisé, urbain, vallonné, ...). En pratique, différentes techniques d'imagerie acoustique existent. Le Delay and Sum beamforming permet par exemple d'estimer la direction d'arrivée de l'onde en temps réel, mais plusieurs verrous restent à lever, notamment liés au mouvement relatif entre l'antenne et la cible toutes deux en mouvement.



Figure 1 : Suivi d'un frelon équipé d'un émetteur sonore avec un drone acoustique

¹ « Quatre facteurs principaux contribuent à l'effondrement des insectes dont l'introduction des espèces exotiques », JB Veyrieras dans le journal du CNRS.

² La région Hauts de France produit 782 tonnes de miel par an (données 2019).

³ 2020 année record de prédation du frelon asiatique ! L'Union Nationale des Apiculteurs de France demande à la France de mettre un terme à l'inaction.

⁴ « Connaissez-vous le point commun entre le cacaoier et la tomate, le cerisier et la courge, le caféier et le pommier ? Leurs précieux fruits et légumes ne tiennent qu'à la fascinante rencontre entre leurs fleurs et des insectes. » (source : site du ministère de la transition écologique).

Au niveau technique les microphones MEMS ont été récemment utilisés pour l'imagerie acoustique (voir référence [5]). Ce type de capteurs miniatures est indispensable pour réaliser un système d'imagerie acoustique suffisamment léger pour être embarqué sur un drone. De nombreuses possibilités sont offertes avec ces capteurs pour la réalisation d'antennes de microphones performantes. Reste à choisir la meilleure configuration pour notre application en fonction des contraintes de poids, à choisir le meilleur signal à émettre sur le frelon, et à optimiser l'algorithme d'imagerie acoustique en fonction des caractéristiques des capteurs, des vitesses relatives en jeu, et des performances de la carte d'acquisition embarquée.

Ce système acoustique sera ensuite intégré dans un drone aérien équipé d'un système de navigation autonome pour réaliser le suivi des signaux acoustiques. L'intégration de l'antenne acoustique, et le développement d'un algorithme de contrôle du drone autonome en lien avec les données acoustiques se fera dans le cadre d'une deuxième thèse (MESR) en parallèle de la thèse proposée ici. L'idée est donc de coupler deux travaux de thèse sur la même thématique, avec une thèse dédiée à la conception de l'antenne acoustique et de la méthode d'imagerie, et l'autre à la conception de la commande du drone acoustique.

Côté émission, un haut-parleur MEMS de 80mg semble adapté pour équiper un frelon asiatique. Néanmoins il faut quand même concevoir un système d'alimentation ultra-léger (~200-300mg max selon [1]) pour alimenter le haut-parleur efficacement et pour produire un signal acoustique. Cette partie sera développée dans le cadre d'un postdoc avec la collaboration de l'équipe M2EI du laboratoire Roberval.

Pour mener à bien ce projet, le laboratoire Roberval s'appuie sur des compétences en imagerie acoustique (voir références [2-4]). Les travaux de recherche de l'équipe ont déjà porté sur des algorithmes d'imagerie acoustique dans un cadre bayésien, en coordonnées cylindriques, mais aussi sur un algorithme de beamforming itératif, ou encore sur un algorithme d'imagerie acoustique en présence d'incertitudes.

L'équipe MPIA (Modélisation, Propagation et Imagerie acoustique) de l'Institut d'Alembert de SU dispose également d'une solide expérience en imagerie acoustique audible, tant dans la conception des systèmes multi canaux légers [5] que dans la conception d'algorithmes performants pour la télé-détection des sources et l'analyse des champs acoustiques [6][7]. Les systèmes Mégamicros construits à base microphones MEMS numériques ont d'ores et déjà montré leur adaptation au suivi de sources mobiles [8]. Leur faible encombrement répond parfaitement aux objectifs du projet d'embarquement sur un drone et leur technologie permet de concevoir des antennes de géométrie arbitraire et simplement modifiable. Il sera donc possible d'optimiser la géométrie de l'antenne par simulation numérique dans un large domaine de solutions et de valider expérimentalement les géométries optimales.

Le laboratoire Heudiasyc pilotera la partie commande du drone en vue de l'intégration de l'antenne sur le drone dans le cadre de la thèse MESR. Ce laboratoire possède une expérience reconnue (plus de 20 ans) et très visible sur la commande et la navigation autonome de drones aériens (voir références [9-12]). Des arènes de vol intérieur et extérieur sont à disposition dans les locaux de l'UTC. Des systèmes drones sont développés par les équipes ingénieurs et chercheurs du laboratoire. HeuDiaSyC est parmi les pionniers de la recherche en France dans le domaine des drones. Les derniers travaux de recherche de l'équipe ont porté sur la conception d'algorithmes de navigation autonome pour le [suivi de trajectoires dynamiques](#) en utilisant un drone aérien, et sur la conception d'un schéma de control réactif pour la [chasse d'un drone intrus en utilisant une flotte de drones aériens](#).

La collaboration proposée permettra de mettre en commun les expertises de chacun dans un projet ambitieux avec de réels enjeux scientifiques, environnementaux, et économiques. Elle permettra de lever les verrous scientifiques et technologiques identifiés sur ce projet : comment choisir et implémenter les capteurs MEMS pour qu'ils soient suffisamment performants pour notre application en termes de poids,

d'alimentation, de puissance, de type de signal d'entrée ? comment optimiser la portée de détection pour qu'elle soit suffisante en environnement calme comme en environnement réel ? comment programmer un algorithme d'imagerie acoustique low cost embarqué ? quelle méthode d'imagerie acoustique permettra de réaliser un suivi précis d'une cible en mouvement ? quel type d'antenne acoustique sera le plus approprié pour le suivi et la détection de nids de frelons ? comment réduire l'influence des bruits extérieurs liés au drone ou à l'écoulement de l'air sur la mesure (capotage / drone silencieux / débruitage) ? comment réaliser le pilotage automatique du drone à partir des données acoustiques, en gardant les contraintes extérieurs (obstacles) ?

L'objectif principal du projet global est de mettre en place un démonstrateur. L'ambition est d'arriver jusqu'au démonstrateur en extérieur sur une cible réelle. Plusieurs étapes intermédiaires sont nécessaires pour atteindre ce but, et la réalisation d'un démonstrateur opérationnel en laboratoire sera déjà un succès pour le projet.

Cette recherche s'inscrit directement dans l'initiative MSTD car elle a pour objectif la conception d'un système technologique dédié à la préservation de l'environnement pour garantir la durabilité des écosystèmes, de la biodiversité, des activités agricoles en lien avec l'apiculture et avec la pollinisation. Il s'agit par ailleurs d'une approche interdisciplinaire, à l'interface entre l'acoustique et la robotique, visant à développer un système composé de différents sous-systèmes : un système aérien autonome, un système de contrôle, et un système acoustique, tous interdépendants.

La personne recrutée pour mener à bien la thèse proposée devra avoir des compétences solides en acoustique et en traitement du signal, avec idéalement des connaissances en contrôle.

- [1] Searching for nests of the invasive Asian hornet (*Vespa velutina*) using radio-telemetry. S. M. Ford, J. Poidatz, D. Thiéry, J. L. Osborne, P. J. Kennedy. *Communications Biology*, (2018) 1:88
- [2] X. Wang, B. Quost, **J.-D. Chazot** et J. Antoni. Estimation of multiple sound sources with data and model uncertainties using the EM and evidential EM algorithms . *Mechanical Systems and Signal Processing* 66-67 : 2016
- [3] X. Wang, B. Quost, **J.-D. Chazot** et J. Antoni. Iterative beamforming for identification of multiple broadband sound sources . *Journal of Sound and Vibration* 365 : 2016
- [4] S. Personne, J. Antoni and **J.-D. Chazot**. Cylindrical cyclic acoustic imaging with a Bayesian approach for reconstruction of cyclostationary sources. ICA 2013 Montreal, Canada, 2013
- [5] C.Vanwynsberghe, R.Marchiano, **F.Ollivier**, P.Challande, H.Moingeon et J.Marchal.« Design and implementation of a multi-octave-band audio camera for realtime diagnosis ». *Applied Acoustics* 89 (2015), p. 281-287.
- [6] G. Chardon, **F. Ollivier** et J. Picheral. « Localization of sparse and coherent sources by orthogonal least squares ». In :*The Journal of the Acoustical Society of America*146.6 (2019),p. 4873-4882.
- [7] Y. Zhou, V. Valeau, J. Marchal, **F. Ollivier** et R. Marchiano. « Three-dimensional identification of flow-induced noise sources with a tunnel-shaped array of MEMS microphones ».In :*Journal of Sound and Vibration*(2020), p. 115459.
- [8] R. Leiba, **F. Ollivier**, R. Marchiano, N. Misdariis, J. Marchal et P. Challande. « Acoustical Classification of the Urban Road Traffic with Large Arrays of Microphones ».In :*Acta Acustica united with Acustica* 105.6 (2019), p. 1067-1077.
- [9] E. Ibarra, **P. Castillo**, H. Abaunza, Nonlinear control with integral sliding properties for circular aerial robot trajectory tracking: real-time validation, *International Journal of Robust and Nonlinear Control (IJRNC)*, Vol. 30, issue 2, pp 609-635, January 25th, 2020.
- [10] H. Abaunza, **P. Castillo**, Quadrotor Aggressive Deployment, Using a Quaternion-based Spherical Chattering-free Sliding-mode Controller, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (TAES)*, 2019 (early access).
- [11] A. Belkadi, H. Abaunza, L. Ciarletta, **P. Castillo**, and D. Theilliol, Design and Implementation of Distributed Path Planning Algorithm for a Fleet of UAVs, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (TAES)*, Vol. 55, Issue: 6, pp. 2647 - 2657, Dec. 2019.
- [12] F. Oliva-Palomo, A. Sanchez-Orta, **P. Castillo**, H. Alazki, "Nonlinear ellipsoid based attitude control for aggressive trajectories in a quadrotor: Closed-loop multi-flips implementation", *Control Engineering Practice*, Vol. 77, pp. 150 - 161, August 2018.

**Merci d'enregistrer votre fichier au format PDF et de le nommer :
«ACRONYME de l'initiative/institut - AAP 2021 - NOM Porteur.euse
Projet »**

***Fichier envoyer simultanément par e-mail à l'ED de rattachement et au
programme : cd_instituts_et_initiatives@listes.upmc.fr avant le 20
février.***