Sujet : Appliquer l'intelligence artificielle pour mieux prendre en compte les pollinisateurs dans les outils de gestion des espaces naturels, agricoles et urbains

La **prise en compte des services écosystémiques** par les acteurs locaux est un levier majeur à la préservation de l'environnement. L'un des services les mieux appréhendés par le public est la **pollinisation** car elle est directement reliée à l'alimentation et que les vecteurs de ce service, les pollinisateurs, bénéficient d'une sympathie généralisée. Il existe d'ailleurs de nombreux programmes de sensibilisation de ces pollinisateurs au grand public (SPIPOLL, Observatoire des papillons). Cependant, **les gestionnaires d'espaces naturels ou agricoles ont besoin d'outils concrets** pour évaluer leurs pratiques de gestion. A l'heure actuelle, ces outils n'existent pas pour les abeilles sauvages. L'un des principaux freins à la prise en compte de ces pollinisateurs dans de tels outils est un manque d'informations couplé à une difficulté d'identification des espèces. L'objectif de ce projet de thèse est **d'étudier l'apport de l'intelligence artificielle au développement d'un indicateur de qualité des milieux** en se focalisant sur un groupe de pollinisateurs essentiels : **les bourdons**.

Les bourdons sont des pollinisateurs majeurs de par leur taille, leur abondance et leur capacité à apporter un service de pollinisation sur des espèces et à des saisons inaccessibles pour la plupart des autres pollinisateurs, notamment l'abeille domestique (Ghisbain et al. 2023). Ce groupe rassemble 44 espèces en France métropolitaine, dont certaines sont plus sensibles que d'autre à la qualité des ressources florales locales et aux perturbations des milieux tels que la présence de pesticides (Nicholson et al. 2023), ou encore le changement climatique (Soroye, Newbold & Kerr, 2020; Rasmont et al. 2015). Certaines espèces sont ubiquistes alors que d'autres sont inféodées à des milieux particuliers tels que les landes (Moquet et al. 2017), les prairies d'altitude (Biella et al. 2017) ou les boisements (Mola et al. 2021). Et la plupart des espèces sont considérées comme menacées dans les pays où leurs populations ont été évaluées (Drossart et al. 2019, Ghisbain et al. 2023). **Ces besoins spécifiques font des bourdons d'intéressants potentiels bio-indicateurs** (Sepp et al. 2004), d'autant plus que leur mode de vie en colonie et leur taille en font des insectes faciles à détecter.

Cependant, la prise en compte des bourdons dans les suivis de milieux en France est actuellement limitée par la **difficulté d'identifier les espèces**. Malgré l'apparente simplicité de la diversité de leurs couleurs, l'identification des bourdons à l'espèce est complexifiée par la présence de nombreuses espèces mimétiques (Williams, 2007). Ainsi, des espèces communes "cachent" les espèces à enjeux auxquelles elles ressemblent. Actuellement, la distinction d'espèces, quand elle est possible, nécessite toujours le sacrifice de l'individu et une expertise sous microscope, souvent chronophage, voire coûteuse. **Ce manque d'accessibilité à l'identification des bourdons est le frein principal à la mise en place de mesures de gestion adéquates dans un effort de conservation**

Aujourd'hui, des **alternatives** à l'identification morphologique sous microscope sont envisageables grâce au développement des méthodes d'**analyse d'images** par intelligence artificielle –IA– (Hansen et al. 2020). Dans ce projet, nous proposons une approche originale mêlant **anesthésie des bourdons** (Toulzac et al. 2022) et **analyse d'images standardisées des ailes** (Buschbacher et al. 2020), dont la morphologie est connue pour différer entre espèces de bourdons (Lecocq et al. 2015). Combinée à une synthèse de nos connaissances sur les distributions et les sensibilités des espèces de bourdons aux dégradations environnementales, cette méthode permettrait notamment de **développer un outil d'identification des bourdons disponible sur smartphone ainsi qu'un indicateur de qualité du milieu à faible coût pour les actrices et acteurs territoriaux**.

Objectifs scientifiques et appliqués :

Le projet présenté ici vise 3 objectifs :

- Entraîner une IA à distinguer les espèces de bourdons sur la base d'images de leurs ailes.
- Calculer un indicateur de qualité de différents milieux sur la base des espèces de bourdons attendues selon la zone géographique et le type d'environnement (lande, prairie, friche agricole ou urbaine).
- Évaluer la pertinence de l'indicateur et de son application sur le terrain grâce à un réseau d'acteurs collectant des bourdons selon un protocole standardisé combinant photos d'ailes et expertise classique.

Justification de l'approche scientifique :

Une **première partie (WP1)** concernera le **développement de l'indicateur 'bourdon'**. Cet indicateur sera établi sur la base des traits de sensibilité et de spécificité écologiques des différentes espèces de bourdons. Ces informations sont présentes dans la littérature (Rasmont *et al.* 2022). Le WP1 bénéficiera

Biella et al. 2017 J. Insect. Conserv. 21, 357–366 https://doi.org/10.1007/s10841-017-9983-1 ; Buschbacher et al. 2020 Ecological Informatics, 55, https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.101017 ; Drossart et al. 2019 Belgian Red List of Bees, Presse universitaire de l'Université de Mons. 140 pp. ; Ghisbain et al. 2023 Nature, 1-5. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06471-0 ; Kluser ,2007 UNEP/GRIDEurope ; Hansen et al. 2020 Ecology and Evolution, 10, 737-747. https://doi.org/10.1002/ece3.5921 ; Lecocq et al. 2015 Zoologica Scripta 44, 281-297. https://doi.org/10.1111/zsc.12107; Mola et al. 2021 BioScience, 71, 1234-1248 https://doi.org/10.1093/biosci/biab121

de synergies avec plusieurs bases de données de traits de vie et de distribution des espèces en développement (GDR POLLINECO, IUCN Europe, 'Atlas des bourdons de France') avec lesquels les encadrants collaborent d'ores et déjà. Ces informations seront synthétisées pour modéliser la diversité potentielle de bourdons selon la localisation, la date et le type de milieu, pour le calcul de l'indicateur.

Une **seconde partie (WP2)** se focalisera sur **l'entraînement du modèle de classification** des espèces de bourdons (IA) qui s'appuiera sur une banque d'images d'ailes de **spécimens de référence déjà expertisés** grâce aux collections d'histoire naturelle de plusieurs partenaires (Université de Mons, Associations naturalistes OPIE, Arthropologia). Un grand nombre de photos est nécessaire pour entraîner efficacement le réseau de neurones et pour faire un outil performant pour toute la France. **Cette banque d'image est déjà amorcée pour le quart des espèces**, mais sera à compléter en début de thèse. Le modèle de classification sera fondé sur un **réseau de neurones convolutif**. Cette méthode a déjà été appliquée sur des ailes d'abeilles et de bourdons avec succès, mais sur des espèces différentes (Buschbacher et al. 2020). Le modèle sera développé en partenariat avec le Sorbonne Center for Artificial Intelligence qui possède les ressources et les compétences. Ce partenariat a déjà été initié avec succès dans le cadre d'un stage de Master 2 encadré par A. Perrard. L'évaluation des prédictions d'espèces de l'IA se fera en comparant les prédictions avec une identification classique des spécimens.

Une **troisième partie (WP3)** concernera l'évaluation de la méthode sur le terrain à travers **un réseau de volontaires déjà sollicités dans des espaces naturels, agricoles et urbains**. Ce réseau sera composé des membres du groupe 'Bumblegeek', des associations naturalistes (OPIE, Arthropologia), et le réseau Phyt'Abeille des lycées agricoles qui ont déjà été impliqués dans le test du prototype de la méthode. Le réseau des réserves naturelles de France, impliquées dans la mise en place du suivi européen des pollinisateurs en collaboration avec A. Perrard, seront aussi sollicités. Enfin, nous solliciterons les collègues impliqués dans des projets d'écologie urbaine dans différentes villes (Paris, Lilles, Nancy, Genève, Besançon). Le protocole sera ainsi appliqué dans des sites plus ou moins bien préservés pour évaluer la méthode d'identification des bourdons sur images d'ailes et la pertinence de l'indicateur.

Adéquation du projet aux objectifs de l'Institut de la Transition Environnementale (SU-ITE) :

En développant une méthode simple, rapide et non-létale d'identification des bourdons à l'espèce, et en formalisant un protocole de suivi et son indicateur associé, ce projet permettra de faciliter la prise en compte de ces pollinisateurs dans les mesures de gestion des espaces naturels, agricoles ou urbains. Il permettra d'identifier les espèces absentes des milieux et de proposer des actions concrètes en réponse.

Ce projet de thèse correspond aux objectifs de SU-ITE de par sa pluridisciplinarité (écologie, taxonomie, informatique, gestion d'espaces) et son ambition de fluidifier le transfert de connaissance sur les pollinisateurs depuis la communauté experte vers la société civile, à travers des applications concrètes. Il contribuera également à améliorer nos connaissances du déclin des pollinisateurs à l'échelle du territoire. Ces avancées méthodologiques sur la documentation du déclin des bourdons seront aussi valorisables dans le cadre du suivi Européen des pollinisateurs (EU-PoMS) qui doit être mis en place d'ici 2026.

Rôle de chaque encadrant et compétences scientifiques apportées :

Isabelle Dajoz assurera le bon déroulement de la thèse et mettra sa spécialisation en écologie de la pollinisation dans le contexte des changements globaux au service du développement de l'indicateur bourdon (WP1), ainsi que son expérience en écologie urbaine et son réseau de collaborateurs dans l'animation du suivi de bourdons (WP3).

Adrien Perrard est le coordinateur national de la mise en place du suivi européen des pollinisateurs depuis 2022. Il contribuera au développement de l'indicateur, au développement de l'outil IA appliqué aux ailes qu'il a déjà amorcé en 2023 (WP2), ainsi qu'à l'animation du réseau de suivi de bourdons (WP3).

Publications/productions des encadrants en lien avec le projet :

Fauviau, A., Baude, M., Bazin, N., Fiordaliso, W., Fisogni, A., Fortel, L., Garrigue, J., Geslin, B., Goulnik, J., Guilbaud, L., Hautekèete, N., Heiniger, C., Kuhlmann, M., Lambert, O., Langlois, D., Le Féon, V., Lopez Vaamonde, C.,Maillet, G., Massol, F., Michel, N., Michelot-Antalik, A., Michez, D., Mouret, H., Piquot, Y., Potts, S.G., Roberts,S., Ropars, L., Schurr, L., Van Reeth, C., Villalta, I., Zaninotto, V., **Dajoz, I.**, Henry, M., (2022). A large-scale dataset reveals taxonomic and functional specificities of wild bee communities in urban habitats of Western Europe. **Scientific Reports** *12*, 18866.

Toulzac, M., Methlouthi, M., & **Perrard, A.** (2022). Soda maker for field anesthesia as a step towards a non-lethal identification of wild bees and other flower visitors. ***OSMIA***, *10*, 25-34.

Zaninotto, V., **Perrard, A.**, Babiar, O., Hansart, A., Hignard, C., & **Dajoz, I.** (2021). Seasonal variations of pollinator assemblages among urban and rural habitats. ***Insects***, *12*(3), 199.

Perrard, A., Baylac, M., Carpenter, J.M. & Villemant, C. (2014) Evolution of wing shape in hornets: why is the wing venation efficient for species identification? ***Journal of Evolutionary Biology***, *27*(12), 2665-2675.

Moquet et al. 2017 Insect Conservation and Diversity, 10, 78-93. https://doi.org/10.1111/icad.12201 ; Nicholson et al. 2023 Nature, 1-4. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06773-3 ; Nieto et al. 2014 European red list of bees. https://data.europa.eu/doi/10.2779/51181 ; Rasmont et al. 2015 BioRisk, 10, 1-236. https://doi.org/10.3897/biorisk.10.4749 ; Rasmont et al. 2022 NAP Editions, 632p. ; Sepp et al. 2004 Landscape and Urban Planning, 67, 173-183. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00037-9 ; Soroye et al. 2020 Science 367, 685-688. https://doi.org/10.1126/science.aax8591 ; Williams, 2007 Biological Journal of the Linnean Society, 92(1), 97-118. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00878.x