Comment sauver les insectes ? Innovations géomatiques et sociales pour stimuler la protection et la restauration de l'entomofaune française

Direction principale de la thèse : **François Bétard** (Professeur, Sorbonne Université, UR Médiations)
Co-encadrement : **Maxime Cauchoix** (CPJ, SETE-CNRS), **Gladys Barragan-Jason** (CRCN, SETE-CNRS)

Contexte

Les insectes sont d'une diversité exceptionnelle, avec plus de 1,1 million d'espèces décrites dans le monde et peut-être dix fois plus à découvrir. Ils sont de très loin la classe la plus diversifiée de macro-organismes vivant sur Terre. Ils jouent des rôles fondamentaux dans le fonctionnement de tous les écosystèmes et constituent un maillon essentiel des réseaux trophiques. Les services écosystémiques qu'ils fournissent gratuitement tels que la pollinisation, le biocontrôle ou la dégradation de la matière organique sont indispensables à la pérennité des écosystèmes et de l'humanité. Et pourtant, comme pour le reste du vivant, leurs populations s'effondrent et les espèces disparaissent à un rythme élevé (1-3). Le déclin d'environ 10 % des populations d'insectes terrestres tous les dix ans rapporté par une récente méta-analyse (3), et surtout les pertes de biomasse d'arthropodes avoisinant les 75 à 98 % dans certaines régions du globe (4), ont permis d'alerter chercheurs, gouvernements et citoyens du monde entier. Ainsi, de grands consortiums de spécialistes ont préconisé la mise en place immédiate de mesures de conservations fortes, l'augmentation, la standardisation et la diversification des suivis pour une meilleure compréhension de l'évolution des populations, ainsi que le développement de programmes de sensibilisation ou d'éducation permettant un changement transformatif des valeurs envers ces groupes taxonomiques parfois mal aimés et souvent mal connus (5).
Les causes principales du déclin des insectes à l'échelle planétaire ont été identifiées (6). Les tendances à large échelle pointent clairement la perte d'habitat, les pollutions chimiques et le changement climatique comme des facteurs prépondérants (1,6). Pour limiter le déclin et restaurer les populations d'insectes, il est donc urgent de conserver les habitats naturels les plus riches, d'augmenter l'hétérogénéité et la proportion d'éléments naturels dans les paysages agricoles et urbains, de limiter l'usage de pesticides et d'identifier les refuges climatiques potentiels.
Néanmoins, les zones prioritaires à protéger ou à restaurer pour sauvegarder un maximum d'espèces d'arthropodes et d'individus à l'échelle d'un pays ou d'une région sont mal connues. Les méthodes de conservation basées sur les modèles de distribution d'espèces (SDM) sont largement utilisées chez les vertébrés. Cette approche permet d'identifier les habitats essentiels pour le maintien ou la restauration de populations d'espèces en danger en fonction de leurs préférences écologiques, y compris selon différents scénarios climatiques projetés. Si cette méthode monospécifique est utilisée pour certaines espèces emblématiques d'insectes (odonates, rhopalocères), elle semble peu adaptée pour la conservation à large spectre de l'entomofaune (7). D'une part, l'incroyable diversité de ce groupe rend l'estimation du risque d'extinction par espèce titanesque - seulement 0,9 % des espèces d'insectes ont actuellement pu être évaluées par la liste rouge de l'UICN (8). D'autre part, le peu de données d'occurrence disponibles rend toute approche de conservation basée sur les SDM impossible pour l'immense majorité des espèces. De plus, les méthodes de suivi classiques de l'entomofaune permettant d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation sur un grand nombre de taxons de manière standardisée sont pour la plupart destructives (capture, piégeage) et extrêmement coûteuses en temps et en argent car elles nécessitent très souvent l'identification par de rares experts taxonomistes très sollicités. Le problème éthique de la mise à mort d'êtres vivants à des fins de connaissance même dans un but de conservation est, de plus, peu entendable pour la majorité des citoyens (chercheurs compris) et certainement peu compatible avec une nécessité de changement transformatif envers ces êtres sensibles (9). Enfin, les leviers sociaux permettant de modifier profondément la perception, les valeurs et donc les comportements individuels en faveur de la protection des insectes restent à identifier.

Objectif scientifique

L'objectif de cette thèse est i) d'identifier les *hotspots* de diversité entomologique en France hexagonale et les zones prioritaires de conservation, ii) de mettre en place un protocole de science participative pour le suivi standardisé et multi-taxa des populations d'insectes, et iii) de construire et d'évaluer un programme de sensibilisation pour un changement transformatif des valeurs associées aux insectes.

Justification de l'approche scientifique

Pour l'identification des zones prioritaires de conservation pour les insectes**,** nous proposons d'utiliser une approche de conservation alternative à celle centrée sur les espèces qui utilisera la variabilité géoclimatique pour définir le potentiel d'accueil et de résilience face aux changements globaux d'un territoire. À partir de la méthodologie développée par **F. Bétard** (10)**,** nous identifierons les *hotspots* de géodiversité (i.e. diversité géologique, géomorphologique, pédologique, hydrologique et topoclimatique) sur l'ensemble du territoire hexagonal. À l'échelle plus fine de deux départements (Ariège, Yvelines), cette carte de géodiversité sera croisée avec une carte d'hétérogénéité des microclimats, un facteur clé pour l'adaptation locale des insectes au changement climatique (11). Enfin, nous intégrerons les données LiDAR HD récemment mises à disposition par l'IGN dans les deux départements sélectionnés pour estimer la richesse des microhabitats définie par la structure 3D d'éléments fins du paysage (e.g., hauteur de végétation, microtopographie).
Ces cartes de potentiel d'accueil seront validées à deux niveaux. Grâce aux nombreuses données de biodiversité opportunistes ou protocolées géolocalisées (GBIF, INPN, Vigie Nature), nous évaluerons à large échelle, après correction des biais d'échantil-

lonnage, les corrélations spatiales entre géodiversité et biodiversité entomologique à l'aide de régressions géographiquement pondérées. Cette approche permettra de mettre en évidence de possibles structures de non-stationnarité spatiale dans la relation étudiée. Puis, en collaboration avec Colin Fontaine (CESCO, MNHN), nous mettrons en place un protocole de science participative de suivi généraliste multi-taxa des insectes par macrophotographie et identification par intelligence artificielle, un protocole déjà développé et utilisé par **M. Cauchoix** depuis deux ans. Pour tester les prédictions géomatiques, ce protocole sera utilisé, à une échelle locale, le long de gradients de naturalité/artificialité et de potentiel d'accueil. Il sera couplé, sur certains sites des *Zones Ateliers* (PyGar, Seine), à l'utilisation de capteurs audio-vidéo pour le suivi automatisé des arthropodes développés par M. Cauchoix dans le cadre de sa CPJ et du projet Terra Forma (projet Equipex+ visant à déployer un réseau de capteurs *open source* à intelligence embarquée et à très basse consommation énergétique).
Enfin, les attitudes négatives à l'égard des insectes constituent un risque important pour la biodiversité à l'échelle mondiale (12). Par exemple, une récente étude montre que l'utilisation d'insecticides est influencée par l'intensité du dégoût envers les insectes et par le manque de connaissances sur ces derniers (13). D'autres études ont révélé qu'un contact direct soutenu avec les écosystèmes naturels pendant l'enfance prédit un niveau d'engagement pro-environnemental accru à l'âge adulte via un changement des valeurs et de vision du monde (augmentation de la biophilie et du sentiment d'appartenance à la nature, 14). De même, une bonne connexion physique et psychologique à la nature est liée à une augmentation des comportements et des valeurs pro-environnementales à l'âge adulte. Sous la supervision de **G. Barragan-Jason,** le ou la doctorant.e réalisera une méta-analyse des études publiées sur les innovations sociales ayant permis un changement de perception, de valeurs ou de comportement envers les insectes. L'âge et les catégories socioprofessionnelles des participants, ainsi que le contexte socio-économique et la diffusion sociale des innovations, seront recherchés pour identifier les stratégies les plus pertinentes en fonction du public ou des socio-écosystèmes visés. Sur la base de cette méta-analyse, nous construirons et évaluerons deux programmes destinés à un jeune public (9-15 ans) d'une part et un public d'agriculteurs d'autre part. Les valeurs et comportements soutenables étant modulés par le taux d'urbanisation (15), nous proposerons la mise en place d'une expérimentation dans le PNR des Pyrénées Ariégeoises (Ariège) et dans le PNR de la Haute Vallée de Chevreuse (Yvelines). Le contenu des programmes reste à affiner en fonction des leviers les plus efficaces identifiés par la méta-analyse qui sera effectuée dès la première année de thèse. Néanmoins, les premières pistes que nous creuserons seront : l'accès simple aux données précises sur le potentiel d'accueil en insectes autour du lieu de vie (augmentation du sentiment d'attachement au lieu), une vision de la diversité de l'entomofaune locale issue des relevés participatifs (augmentation de l'émerveillement) et l'utilisation de méthodes pour augmenter l'attention à l'environnement et le contact avec les insectes (augmentation du sentiment d'interdépendance humain-nature récemment identifié comme un levier clé de durabilité par Barragan-Jason et al. (16)).

Interdisciplinarité, compétences complémentaires des encadrants et adéquation du projet à l'ITE

François Bétard (**géographe et entomologiste**) supervisera le travail de géomatique et de cartographie des zones de conservation prioritaire basée sur la quantification de la géodiversité (10), ainsi que les travaux de terrain en Île-de-France (Yvelines). Maxime Cauchoix (**écologue et éthologue**) et Gladys Barragan-Jason (**psychologue de l'environnement**) superviseront le travail de méta-analyse (16, 17). Maxime Cauchoix supervisera la mise en place du protocole de science participative et son animation, en collaboration avec Colin Fontaine (**écologue**, Directeur scientifique Vigie Nature au MNHN), ainsi que les travaux de terrain en Ariège. Gladys Barragan-Jason supervisera le travail d'expérimentation autour des programmes de sensibilisation (jeune public, agriculteurs) dans les deux parcs naturels régionaux sélectionnés pour l'étude, avec lesquels l'équipe encadrante développe déjà des partenariats.
La dynamique interdisciplinaire portée par le trio d'encadrants aux compétences complémentaires (géographie, écologie, psychologie de l'environnement) permet clairement de positionner ce projet de thèse à l'**interface entre sciences de la nature et sciences de la société**. Les innovations technologiques et sociales envisagées sont au cœur des **enjeux de la transition environnementale** : utilisation et développement d'outils géomatiques et multicapteurs pour mieux comprendre et prédire l'adaptation des insectes face au changement climatique, recherche des leviers sociaux permettant un changement transformatif des comportements et des valeurs associées aux insectes et à la biodiversité **auprès de publics acteurs de la transition environnementale** (jeune public, agriculteurs, élus et techniciens des parcs naturels).

Références

1. Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biol Conserv 232:8–27; **2.** Hallmann CA et al (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12(10):e0185809; **3.** van Klink R et al (2020) Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. Science 368(6489):417–20; **4.** Goulson D (2019) The insect apocalypse, and why it matters. Current Biolology 29(19):R967-R971; **5.** Harvey JA et al (2020) International scientists formulate a roadmap for insect conservation and recovery. Nat Ecol Evol 4(2):174–6; **6.** Outhwaite CL et al (2022) Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. Nature 605(7908):97–10; **7.** Mammola S et al (2021) Challenges and opportunities of species distribution modelling of terrestrial arthropod predators. Diversity and Distributions 27(12):2596–2614; **8**. Cowie RH et al (2022) The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? Biological Reviews 97(2):640–663; **9.** Crump A et al (2023) Is it time for insect researchers to consider their subjects' welfare? PLoS Biology 21(6):e3002138; **10. Bétard F**, Peulvast JP (2019) Geodiversity Hotspots: Concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. Environmental Management 63(6):822–834; **11.** Suggitt AJ et al (2018) Extinction risk from climate change is reduced by microclimatic buffering. Nature Climate Change 8(8):713–717; **12.** Fukano Y, Soga M (2021) Why do so many modern people hate insects? The urbanization–disgust hypothesis. Sci Total Environment 777:146229. **13.** Gish M et al (2024) Does aversion to insects affect insecticide use? An elusive answer calls for improved methods in biophobia research. People and Nature, doi:10.1002/pan3.10585; **14.** Molinario E et al (2020) From childhood nature experiences to adult pro-environmental behaviors: An explanatory model of sustainable food consumption. Environmental Education Research 26(8):1137-1163; **15.** Cazalis V, Loreau M & **Barragan-Jason G** (2023) A global synthesis of trends in human experience of nature. Frontiers in Ecology and the Environment 21(2):85-93; **16**. **Barragan-Jason G** et al (2022) Human–nature connectedness as a pathway to sustainability: A global meta-analysis. Conservation Letters 15(1):e12852; **17. Cauchoix M** et al (2018) The repeatability of cognitive performance: a meta-analysis. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 373(1756):20170281.