

## **Effets de la gestion agricole et des changements climatiques sur l'écologie et l'évolution des réseaux plantes-insectes**

### **Contexte**

L'intensification agricole et les changements climatiques constituent des menaces importantes pour la biodiversité et l'intégrité des réseaux écologiques<sup>1,2</sup>. Les changements d'habitats, l'utilisation de pesticides et de fertilisants jouent un rôle important dans les déclin d'insectes observés actuellement. Ces insectes, pollinisateurs comme herbivores, contraignent la dynamique écologique des plantes (respectivement leur mortalité et fécondité), mais également leur évolution. Par exemple, dans un contexte francilien de déclin des pollinisateurs, des chercheurs ont montré une évolution rapide vers moins d'attractivité et plus d'auto-fécondation<sup>3</sup>, néfaste pour le maintien du système. Parce que les plantes constituent la base énergétique des écosystèmes, mais aussi des ressources humaines (productivité agricole), comprendre la robustesse de ces réseaux plantes-insectes est prioritaire pour envisager la durabilité des activités humaines. Le projet de thèse présenté ici est focalisé sur cette problématique. Il s'appuiera sur une combinaison de modélisations mathématiques, d'analyses de données empiriques pour tester la pertinence des modèles, mais aussi de scénarios de changements globaux et agricoles. Le projet s'appuiera sur une approche interdisciplinaire à l'interface entre mathématiques (collaboration de Chi Tran, chercheur en mathématiques appliquées, DR INRIA) et écologie/évolution (le porteur du projet). Le lien avec les applications empiriques s'appuiera sur des collaborations locales, tant pour l'analyse de données de réseaux écologiques (Elisa Thébault, CR CNRS) que des traits des plantes (Mathilde Baude, MC Orléans).

### **Objectif Scientifique**

Un premier objectif sera de comprendre comment les conditions de gestion affectent les dynamiques écologiques et évolutives du réseau écologique. Du point de vue écologique, des interactions positives (plantes-pollinisateurs) comme négatives (plantes-herbivores) seront intégrées, quand la majorité des études sur le sujet ne considère qu'un seul type d'interaction<sup>4</sup>. Du côté évolutif, le projet s'intéressera à comprendre l'évolution des traits des plantes (signaux produits: nectar, abondance florale, composés organiques volatiles, mais aussi défenses) et des insectes (utilisation des signaux, degré de généralisme). Le projet analysera les structures de réseaux obtenues, et leurs variations selon les conditions de l'environnement, particulièrement selon la gestion agricole: disponibilité en énergie (fertilisation) et mortalité des insectes (pesticides, destruction d'habitat). Au-delà de la structure, les variations de fonctionnements et des services écosystémiques associés (service de pollinisation, productivité, vulnérabilité à l'herbivorie) seront également quantifiées.

Un deuxième objectif sera d'étudier différents scénarios de perturbation et la résilience du réseau face à ces perturbations selon sa structure initiale, et l'évolution (possible ou non, et à différentes vitesses) des espèces. Étant donné les évolutions rapides actuellement observées, le rôle de ces évolutions pour le maintien et la résilience des réseaux écologiques est en effet une question prioritaire en écologie/évolution et un axe d'innovation majeur pour le projet présenté.

### **Justification de l'approche scientifique**

L'ensemble des questions sera étudié grâce à des méthodes dédiées en écologie évolutive (dynamique adaptative, génétique quantitative, simulations individus-centrées). L'encadrant de thèse utilise ces techniques depuis plus de 20 ans, et a pu valoriser ses travaux dans des revues importantes<sup>5,6</sup>, y compris dans un cadre de dynamiques de réseaux d'interaction<sup>7</sup>. Par ailleurs, le projet s'appuiera sur l'expertise de Chi Tran, chercheur en mathématiques appliquées, expert des modèles de dynamiques écologiques et évolutives. Plus précisément, une partie du projet implique le passage des espèces à

<sup>1</sup>Raven et al 2021, PNAS;<sup>2</sup>Rigal et al 2023 PNAS;<sup>3</sup>Acoca-Pidolle et al 2024 New Phytol;<sup>4</sup>Fontaine et al 2011, Ecol Let;<sup>5</sup>Loeuille & Loreau 2005 PNAS;<sup>6</sup>Loeuille 2010 Ecol Let;<sup>7</sup> Maliet et al 2020 Ecol Let;<sup>8</sup>Baude et al 2016 Nature;<sup>9</sup>Urban et al 2016 Science; <sup>10</sup>Bonnet et al 2022 Science

faible population (eg, dû aux perturbations), conditions dans lesquelles les processus stochastiques deviennent dominants. Les modèles déterministes (type équations différentielles) s'appliquent alors difficilement. L'expertise de Chi Tran en dynamique stochastique sera un apport précieux à ce projet, par essence interdisciplinaire.

Les structures de réseaux obtenues seront systématiquement comparées aux données empiriques obtenues dans différentes conditions environnementales (collaboration Elisa Thébault (CR CNRS, iEES Paris)). De même, le projet impliquera la collaboration de Mathilde Baude (MC Orléans, iEES Paris). Mathilde Baude étudie depuis de nombreuses années ces traits floraux<sup>8</sup> dans différents contextes (eg, selon le type d'agriculture en Ile de France). Son expertise sur ces données "traits" sera précieuse pour étayer la partie évolutive du projet.

### **Adéquation aux thématiques de l'appel à projet**

Le projet présenté ici est par essence interdisciplinaire, combinant des approches en écologie/évolution (y compris dans ses applications directes: services écosystémiques, gestion agricole, résilience face aux changements globaux) et mathématiques, en collaboration avec un chercheur du domaine (Chi Tran) qui s'est d'ores et déjà engagé à être pleinement impliqué dans la thèse. Le projet a des implications sociales fortes de différents ordres. Au niveau de ses résultats, il liera le contexte perturbation (y compris changements globaux), spatial (y compris contexte agricole) et la dynamique éco-évolutive des réseaux. Si cette question des dynamiques évolutives a longtemps été jugée secondaire du point de vue des implications politiques et sociales, les nombreuses observations récentes d'évolution rapide ont modifié ce point de vue<sup>9,10</sup>. La compréhension des effets de ces évolutions rapides sur le maintien de la diversité et la résilience des systèmes est ainsi devenue un axe de discussion majeur. Enfin, la comparaison avec les données permettra un lien direct avec les mesures de terrain, y compris locales (eg, expertise sur les données de traits en Ile de France), pouvant permettre des implications des acteurs locaux (agriculteurs, associations, communes). Le laboratoire d'accueil (iEES Paris) possède en ce sens de nombreuses collaborations, à l'échelle parisienne et francilienne, qui pourront être mobilisées. Le projet peut facilement mener à des actions de médiations, soit autour des services écosystémiques associées aux réseaux écologiques étudiés ici (productivité plante, service de pollinisation), soit autour des évolutions rapides des plantes comme des insectes (eg, mise en place d'un logiciel support pour des animations, qui permettrait de visualiser des évolutions possibles du système pour différents cadres de gestion ou de perturbation).

### **Cadre et financement**

Le doctorant serait accueilli au sein de l'institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement (iEES Paris), dont l'équipe "dynamique des réseaux d'interactions" (DYNECO) accueille non seulement le porteur du projet (et directeur de thèse potentiel), mais aussi deux des collaborateurs (Elisa Thébault & Mathilde Baude). Des visites régulières au laboratoire INRIA de Lille seront organisées pour faciliter la collaboration avec Chi Tran (DR INRIA, Lille), cette collaboration également facilitée par le fait que Chi Tran comme Nicolas Loeuille sont membres actifs de la chaire Modélisation Mathématique de la Biodiversité et s'y croisent plusieurs fois par an. Cette chaire, qui compte environ 70 membres actifs, offrira un cadre stimulant pour l'étudiant recruté. Le travail s'appuiera, pour la partie bureautique, sur des ordinateurs recyclés de projets précédents, et pour la partie calcul sur les services communs de l'université (Sacado/MESU). Les congrès internationaux accessibles en train seront privilégiés. L'estimation des coûts (missions ponctuelles à Lille, un congrès national, un congrès international) s'élève à 5800€. La demande de fonctionnement (en plus du financement de thèse) est donc de 5800€ (cf fichier joint).

<sup>1</sup>Raven et al 2021, PNAS;<sup>2</sup>Rigal et al 2023 PNAS;<sup>3</sup>Acoca-Pidolle et al 2024 New Phytol;<sup>4</sup>Fontaine et al 2011, Ecol Let;<sup>5</sup>Loeuille & Loreau 2005 PNAS;<sup>6</sup>Loeuille 2010 Ecol Let;<sup>7</sup> Maliet et al 2020 Ecol Let;<sup>8</sup>Baude et al 2016 Nature;<sup>9</sup>Urban et al 2016 Science; <sup>10</sup>Bonnet et al 2022 Science