



PSDR4 DYNAMIQUES - Dynamiques de la biodiversité et des services écosystémiques pendant le développement périurbain

Fatima Allaoui, Claire Barraud, Emmanuelle Baudry, Carmen Bessa-Gomes,
Maya Bimbot, Claire Capdevielle-Dulac, Olivier Crouzet, Ghislaine Delarue,
Christophe Hanot, Myriam Harry, et al.

► To cite this version:

Fatima Allaoui, Claire Barraud, Emmanuelle Baudry, Carmen Bessa-Gomes, Maya Bimbot, et al..
PSDR4 DYNAMIQUES - Dynamiques de la biodiversité et des services écosystémiques pendant le
développement périurbain. Innovations Agronomiques, 2022, 86, pp.71-79. 10.17180/ciag-2022-vol86-
art07 . hal-03838306

HAL Id: hal-03838306

<https://hal.inrae.fr/hal-03838306>

Submitted on 3 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

PSDR4 DYNAMIQUES - Dynamiques de la biodiversité et des services écosystémiques pendant le développement périurbain

Allaoui F.¹, Barraud C.¹, Baudry E.¹, Bessa-Gomes C.¹, Bimbot M.¹, Capdevielle-Dulac C.², Crouzet O.³, Delarue G.³, Hanot C.¹, Harry M.², Héraudet V.¹, Hulot F.D.¹, Karolak S.¹, Lamy I.³, Nélieu S.³, Renaud E.¹

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, AgroParisTech, Ecologie Systématique et Evolution, UMR 8079, F-91405 Orsay

² Université Paris-Saclay Laboratoire, CNRS, Evolution, Génomes Comportement, UMR 9191, F-91198 Gif sur Yvette

³ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon et F-78026 Versailles

Correspondance emmanuelle.baudry@universite-paris-saclay.fr

Résumé

Le projet DYNAMIQUES est un programme pluridisciplinaire de recherche qui étudie les conséquences du développement périurbain sur la biodiversité et les services qu'elle fournit aux humains. Le projet est réalisé sur le plateau de Saclay, un territoire situé dans la zone de jonction entre l'agglomération parisienne et les grandes plaines qui l'entourent et ayant la double particularité d'être en cours d'urbanisation suite au développement du grand pôle scientifique et technologique de Paris Saclay, et de comporter plus de 2000 hectares de terres agricoles parmi les plus fertiles de France. L'objectif général du projet est de produire des connaissances pour favoriser une coexistence durable sur un même territoire entre l'agriculture, la ville et la biodiversité, en lien avec les partenaires du développement urbain et agricole. Une des caractéristiques majeures des espaces périurbains est la coexistence de deux types d'espaces très modifiés par la présence humaine, les espaces agricoles et les espaces urbanisés. Il est déjà connu que cette forte modification a des conséquences négatives pour la biodiversité, et que les espaces agricoles et urbanisés contiennent en moyenne une biodiversité nettement plus faible que les espaces naturels. La présence simultanée d'espaces agricoles et urbains sur un territoire pourrait par conséquent sembler particulièrement problématique pour la biodiversité mais il est également possible que ces deux types d'espaces très modifiés se complètent et que leur association soit au contraire relativement bénéfique pour la biodiversité. Le projet a montré qu'on observe dans certains cas une synergie positive des espaces agricoles et urbain, les insectes pollinisateurs semblent ainsi bénéficier de la présence simultanée de ces deux types d'espaces, alors que dans d'autre cas elle est négative : les mares périurbaines subissent une double contamination quand elles sont situées dans les interfaces agricoles et urbaines.

Mots-clés : Ecologie urbaine, Agriculture, Urbanisation, Service de pollinisation, Service de recyclage de la matière organique, Contaminants

Abstract: Dynamics of biodiversity and ecosystem services during peri-urban development

The DYNAMIQUES project is a multidisciplinary research program that studies the consequences of peri-urban development both on biodiversity and the services it provides to humans. The project is being carried out on the Saclay Plateau, an area located in the junction zone between the Paris conurbation and the great plains surrounding it, with the dual characteristic of being in the process of urbanization following the development of the great Paris Saclay science and technology cluster, and of integrating more than 2,000 hectares of some of the most fertile agricultural land of France. The general objective of

the project is to produce knowledge to promote sustainable coexistence on the same territory between agriculture, the city and biodiversity, in conjunction with urban and agricultural development partners. One of the major characteristics of peri-urban spaces is the coexistence of two types of spaces that are highly modified by human presence, agricultural spaces and urbanized spaces. It is already known that this strong modification has negative consequences for biodiversity, and that agricultural and urbanised spaces contain on average much lower biodiversity than natural spaces. The simultaneous presence of agricultural and urban areas on a territory could therefore seem particularly problematic for biodiversity, but it is also possible that these two types of highly modified areas complement each other and that their association is on the contrary relatively beneficial for biodiversity. The project has shown that in some cases there is a positive synergy between agricultural and urban spaces. Insect pollinators seem to benefit from the simultaneous presence of these two types of spaces, while in other cases the synergy is negative: peri-urban ponds suffer from double contamination when they are located in the agricultural and urban interfaces.

Keywords: Urban ecology, Agriculture, Urbanization, Pollination service, Organic matter recycling service, Contaminants

1. Introduction

1.1 Enjeux et problématique

Nous sommes actuellement dans une période de destruction rapide du monde naturel. Les travaux des biologistes indiquent que le taux d'extinction actuel des espèces est au moins cent fois supérieur au taux d'extinction ordinaire, constituant ce que l'on a appelé « la 6ème extinction de masse » de l'histoire de notre planète (Ceballos et al., 2015). De plus, de très nombreuses espèces jusque-là communes voient leurs populations diminuer de façon majeure, diminuant leur capacité à fournir des services écosystémiques à l'homme (Ceballos et al., 2017). Plus de 15 000 scientifiques viennent de signer un article mettant en garde contre la destruction rapide de la biodiversité et le danger de voir l'humanité pousser « *les écosystèmes au-delà de leurs capacités à entretenir le tissu de la vie* », et suggèrent qu'il est nécessaire de repenser en profondeur les relations entre l'homme et la nature (Ripple et al., 2017).

Une cause majeure de ce déclin de la biodiversité est l'augmentation simultanée de la population humaine et des ressources naturelles consommées par habitant (Crist et al., 2017). Cette augmentation de la population humaine est associée à une augmentation du nombre et de la surface des espaces urbanisés ainsi qu'à une augmentation de la proportion de la population qui vit dans ce type d'espace. En France, comme dans la plupart des pays d'Europe, près de 80% des habitants vivent en ville, cette proportion dépassant 95% en Ile-de-France. Bien que le développement urbain se soit considérablement ralenti depuis la fin des années 1960, la proportion de la population vivant dans des zones périurbaines, principalement consacrée au logement individuel, continue d'augmenter sensiblement.

Cette évolution des territoires périurbains en marge des métropoles est caractérisée depuis plusieurs décennies par l'importance des mutations des espaces agricoles et naturels en espaces urbanisés. En cinquante ans à peine, les territoires se sont considérablement transformés, les limites entre foncier bâti et espaces agricoles se sont brouillées, créant des interfaces complexes mêlant zones urbanisées et espaces ouverts agricoles (Cusin et al., 2016). Le développement urbain a généralement un impact négatif important sur la biodiversité (McKinney, 2008), même s'il est variable suivant les groupes taxonomiques et leurs caractéristiques écologiques. Cependant, la juxtaposition en milieu périurbain d'espaces urbanisés et agricoles, chacun associé à des pressions anthropiques de différente nature, peut potentiellement constituer soit une menace si ces pressions agissent de façons synergiques, soit au contraire une atténuation, si les espaces urbains et agricoles ont un rôle complémentaire pour la biodiversité. Cette hypothèse a par exemple été proposée pour les insectes pollinisateurs, qui

bénéficieraient potentiellement de la plus grande diversité des habitats présents à l'interface entre les espaces agricoles et urbains. Le projet PSDR4 DYNAMIQUES a pour objectif de relier la biodiversité, deux services écosystémiques importants pour l'agriculture, les services de pollinisation (Winfree et al., 2011) et de recyclage de la matière organique du sol (Pelosi et al., 2021), ainsi que la présence de contaminants (Grimm et al., 2008) à la présence d'espaces agricoles et urbains, avec comme territoire d'étude le plateau de Saclay.

1.2 Présentation du terrain d'étude

Le territoire d'étude sélectionné est le plateau de Saclay (Figure 1), situé dans la zone de jonction entre l'agglomération parisienne et les grandes plaines qui l'entourent. Il est délimité par la vallée de l'Yvette au sud et à l'est, celle de la Mérantaise à l'ouest et celle de la Bièvres à l'est. Jusqu'à très récemment, le territoire de Saclay avait une vocation principalement agricole mais le développement en cours du grand pôle scientifique et technologique de l'Université Paris Saclay augmente considérablement l'emprise urbaine sur le territoire. En parallèle, une zone de protection naturelle, agricole et forestière (ZNPAF) de plus de 4 000 ha a été créée, pérennisant ainsi l'usage agricole des terres du plateau. Le plateau de Saclay a ainsi été choisi comme territoire expérimental pour le projet car il présente des enjeux importants en termes de coexistence des espaces urbains, agricoles et de la biodiversité dans un contexte d'urbanisation et reflète à une échelle plus réduite une partie importante des problématiques de l'Ile de France. Un critère de choix a également été l'intérêt croissant pour la conservation de la biodiversité parmi les acteurs du territoire.

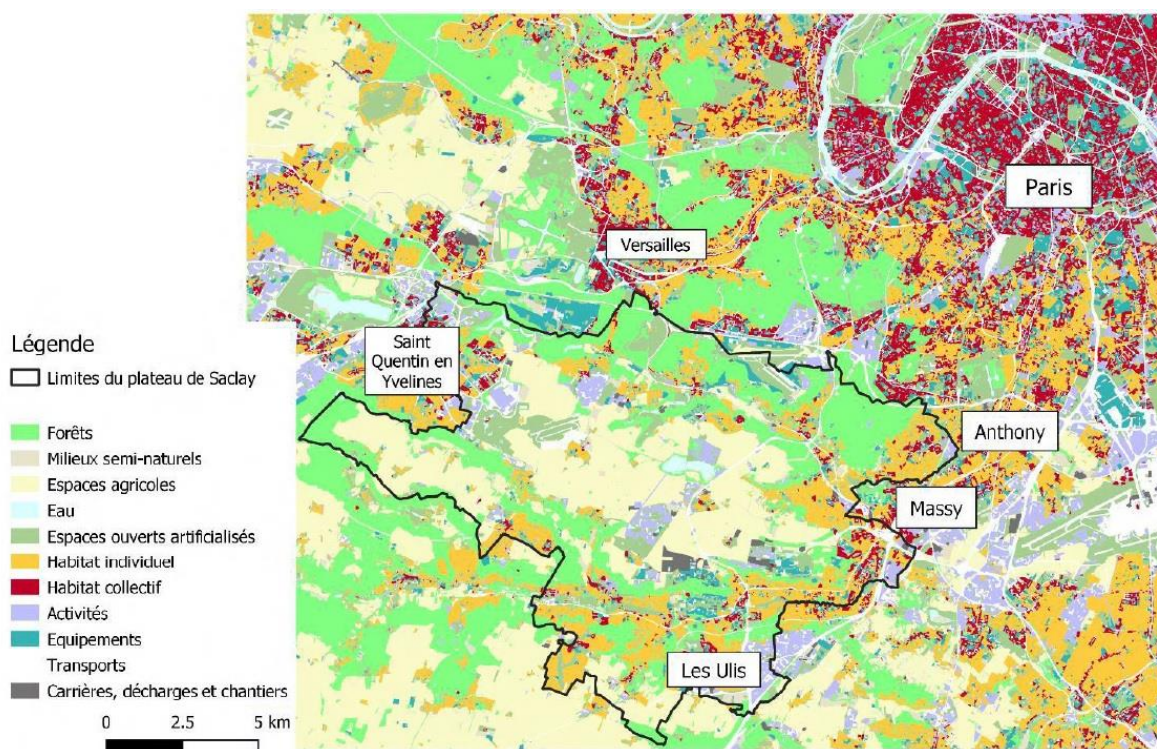


Figure 1 : Cartographie de l'occupation des sols et contexte du territoire étudié (Sources MOS 2017 et Openstreet Map). Crédit Claire Lamarre.

A l'intérieur de ce territoire, des points d'échantillonnage des milieux terrestres ainsi que des mares pour le milieu aquatique ont été choisis de façon à maximiser la couverture des différents contextes paysagers du territoire d'étude : contextes agricoles, urbanisés et semi-naturels.

1.3 Partenariat du projet

Pour comprendre comment les interactions entre les espaces agricoles et urbains influencent la biodiversité et les services écosystémiques en milieu périurbain, le projet a rassemblé des partenaires travaillant dans plusieurs disciplines :

- **ECOSYS**, Unité Mixte de Recherche en écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes. Ce partenaire a piloté les études réalisées en écotoxicologie ainsi que les études du compartiment sol, et a piloté à la fois les mesures de l'accumulation et des effets des contaminants liés aux activités urbaines et agricoles dans les différents compartiments de l'environnement (eau, sédiments et sol) et les mesures de biodiversité réalisées sur la macrofaune du sol et sur les invertébrés terrestres.
- **EGCE**, Evolution, génomes, comportement et écologie, Unité Mixte de Recherche sur l'évolution et la dynamique de la biodiversité. Ce partenaire a piloté les inventaires de biodiversité réalisés en milieu aquatique à l'aide de méthodes moléculaires de metabarcoding.
- **ESE**, Écologie, Systématique et Évolution, Unité Mixte de Recherche en écologie et évolution. Ce partenaire a piloté les inventaires de biodiversité réalisés en milieux aquatique et terrestre ainsi que les mesures de services écosystémiques. Il a également assuré la coordination du projet.
- **Terre et Cité**, association qui travaille à l'échelle du plateau de Saclay et de ses vallées pour pérenniser, promouvoir et développer une agriculture de qualité et mettre en valeur le patrimoine associé. L'association Terre et Cité a participé au projet de par sa très bonne connaissance des acteurs du plateau de Saclay. En particulier, elle a permis les échanges entre les écologues avec les agriculteurs et les décideurs locaux.

2. Principaux résultats obtenus

2.1 Impact des paysages agricoles et urbains sur la contamination de l'eau et des sédiments des mares

Les mares sont des milieux qui hébergent une biodiversité particulièrement riche et fournissent des services écosystémiques très importants comme la régulation et la décontamination de l'eau ou la séquestration du carbone organique. En milieu périurbain, elles sont potentiellement exposées à la fois à des contaminants d'origine urbaine tels que les éléments traces métalliques et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), et à ceux d'origine agricole tel que l'excès de nutriment et les pesticides. Nous avons réalisé de nombreuses mesures sur les eaux et les sédiments de 12 mares situées dans des contextes paysagers variés à l'intérieur du territoire d'étude (Nélieu et al., 2020).

Nous avons montré que les mares présentent des profils de contamination très variés, qui sont principalement corrélés à l'usage agricole pour le compartiment eau (Figure 2) et principalement corrélés à l'usage urbain pour les sédiments, ces derniers présentant dans certains cas une accumulation de HAP potentiellement toxique.

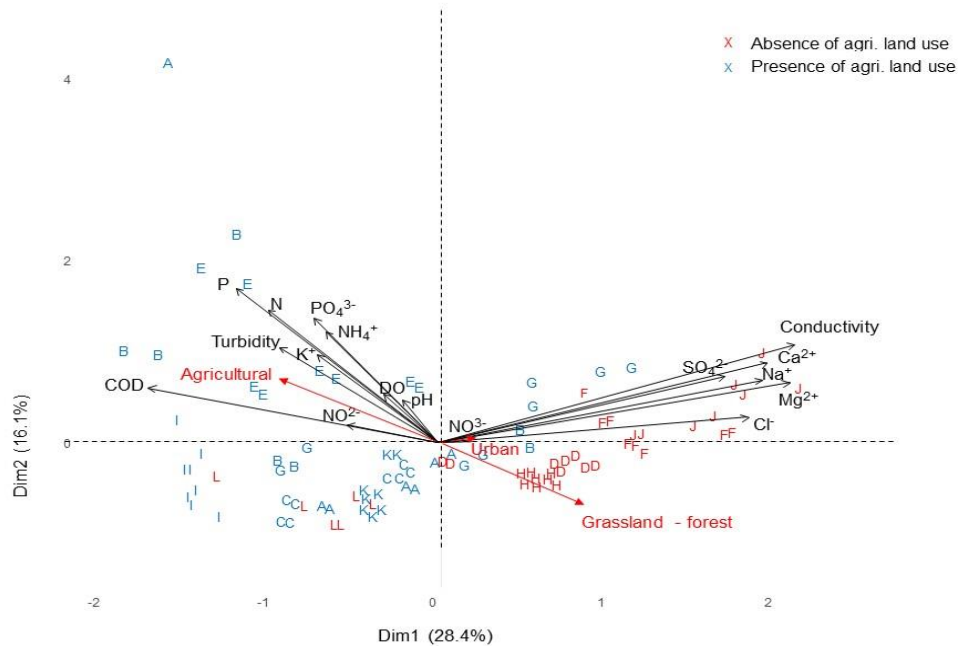


Figure 2 : Analyse en composantes principales des propriétés physico-chimiques de l'eau de 12 mares périurbaines montrant la relation entre l'occupation des sols (flèches rouges) et les propriétés physico-chimiques de l'eau. Les lettres indiquent l'identité de la mare étudiée. Figure reprise et adaptée de Nélieu et al. (2020).

2.2 A l'intérieur de l'Île-de-France, les jardins domestiques ont une influence positive sur la diversité des insectes pollinisateurs

L'expansion urbaine est globalement défavorable pour la biodiversité mais les espaces verts inclus dans la trame urbaine, en particulier les jardins domestiques qui constituent souvent la majorité de ces espaces, peuvent avoir un effet compensateur. Grâce aux données produites par le programme français de science citoyenne SPIPOLL, Suivi Photographique des Insectes Pollinisateurs, nous avons étudié la relation entre le mode d'occupation des sols et la diversité des insectes pollinisateurs (Levé et al., 2019). Nous avons montré que les jardins domestiques constituent des habitats localement favorables, intégrés dans un paysage dans lequel les surfaces imperméables urbaines représentent des zones défavorables (Figure 3). Nous soulignons l'interconnexion entre l'échelle locale et l'échelle du paysage ainsi que le rôle potentiellement important des parcelles de jardins domestiques dans les zones résidentielles.

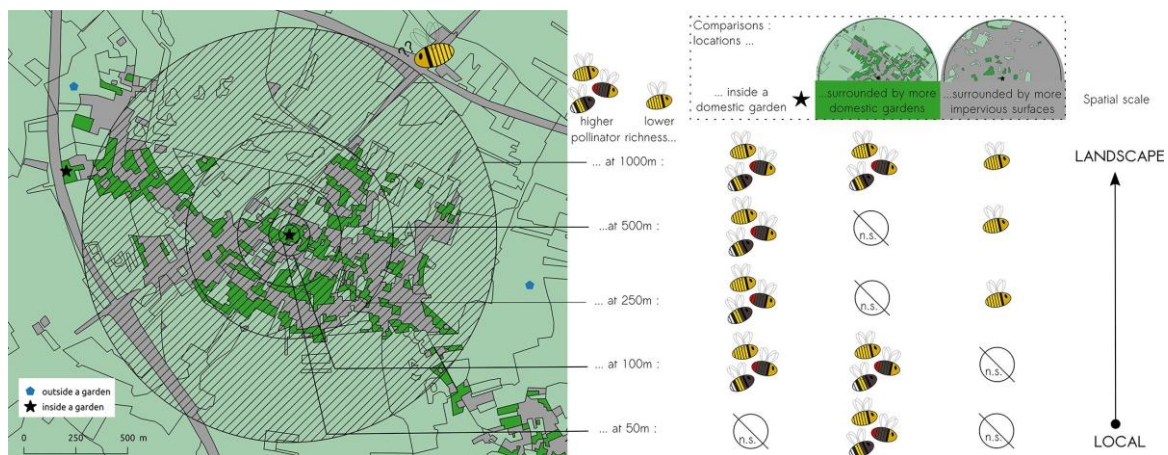


Figure 3 : Résumé des relations entre la présence de jardins et la diversité des pollinisateurs, à différentes échelles spatiales. Figure reprise de Levé et al. (2019). Crédit Marine Levé.

Résultat méthodologique : les données de science participative peuvent être utilisées pour reconstruire des réseaux d'interaction plantes-pollinisateurs. Les écologistes s'intéressent de plus en plus aux réseaux de plantes-pollinisateurs qui synthétisent en un seul objet les espèces et les interactions qui les relient dans leur contexte écologique (Figure 4). Pour reconstruire ces réseaux, il serait intéressant de pouvoir utiliser les données produites par les programmes de science participative, qui ont généralement une relativement faible résolution taxonomique. En effet, les programmes de Science participative qui étudient les insectes pollinisateurs sont réalisés par des acteurs non-scientifiques-professionnels, qui ne peuvent souvent pas identifier l'espèce des insectes observés, mais plutôt son genre voire dans certains cas sa famille. Nous avons montré qu'il est possible d'estimer de manière significative les propriétés des réseaux d'interaction plante-pollinisateur avec une résolution taxonomique inférieure au niveau de l'espèce, et donc d'utiliser dans cet objectif les données issues des programmes de science participative (Renaud et al., 2021).

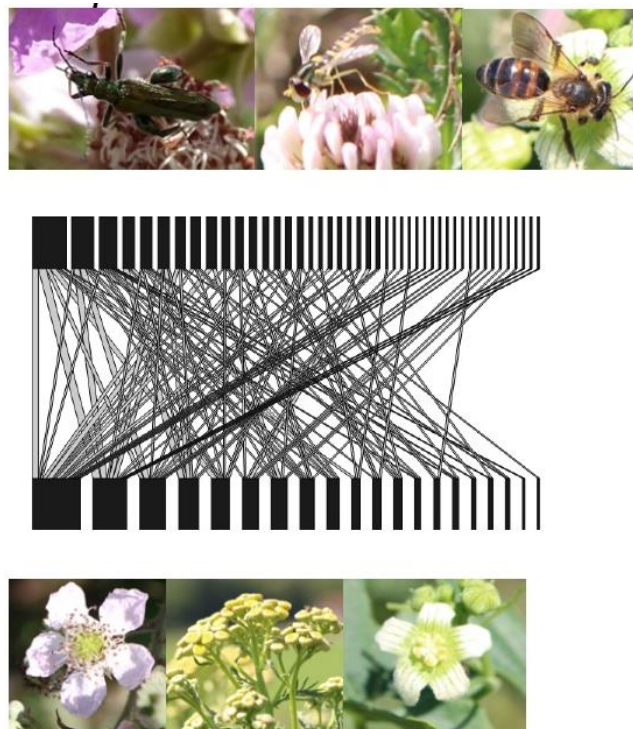


Figure 4 : Exemple de réseau d'interaction plante-pollinisateur sur l'un des points d'échantillonnage du territoire d'étude. Crédit Estelle Renaud. Les bandes noires du dessus correspondent chacune à un taxon d'insecte, la largeur de la bande indiquant l'abondance du taxon en question, et celles du bas correspondent aux plantes à fleur. Les traits qui les relient indiquent les interactions entre plantes et pollinisateurs qui ont été observées.

2.3 En milieu périurbain, le service de pollinisation est plus efficace dans les zones où surfaces urbanisées et agricoles sont imbriquées que dans les zones purement urbaines ou agricoles.

De nombreuses espèces de plantes sauvages et cultivées dépendent pour leur reproduction de ce qu'on appelle le service de pollinisation, c'est-à-dire le transport de pollen réalisé par les insectes pollinisateurs. A l'aide d'une mesure expérimentale basée sur les fleurs de lotiers (Figure 5), nous avons montré que le service de pollinisation est plus efficace dans les environnements contenant à la fois des surfaces agricoles et urbaines, que dans ceux purement urbains ou agricoles, indiquant qu'il existe une complémentarité entre ces deux types de surface pour les insectes pollinisateurs. En effet, les espaces agricoles sont riches en ressources alimentaires mais pauvres en sites de nidification. Au contraire, les villes offrent moins de ressources alimentaires mais certains endroits comme les murets ou les allées peuvent être de bons sites de nidification.



Figure 5 : Inflorescence de lotier en fleur et portant 0, 1 ou 3 fruit(s) Le lotier devant obligatoirement être pollinisé par des insectes pour produire ses fruits, chaque fruit témoigne du passage d'un insecte pollinisateur. Crédit Virginie Héraudet.

Résultat méthodologique : l'électricité est une méthode pertinente pour analyser la diversité des vers de terre dans les sols urbanisés ou agricoles. Nous avons comparé l'efficacité de deux méthodes, l'une utilisant un irritant chimique et l'autre l'électricité, pour l'évaluation des populations de vers de terre dans des contextes paysagers agricoles et urbanisés. Nous avons montré que les deux méthodes permettent de décrire de façon similaire la diversité des espèces présentes (Figure 6), et que dans les environnements urbanisés où en raison de considérations sociales et de santé et sécurité, il n'est pas toujours possible d'utiliser des produits chimiques et de perturber le sol en creusant des fosses, la méthode électrique est un outil utile pour l'échantillonnage des vers de terre (Pelosi et al., 2021).

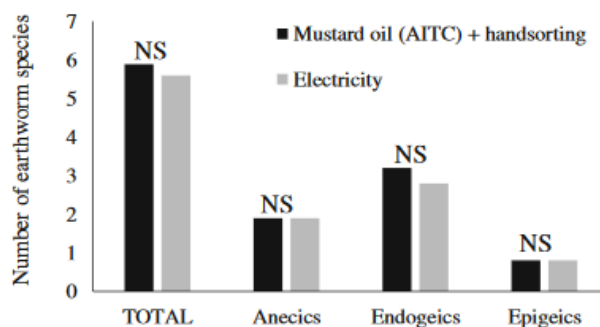


Figure 6 : Diversité des espèces de vers de terre relevée sur les points d'échantillonnage du territoire d'étude avec la méthode électrique ou celle utilisant un irritant (huile de moutarde). Figure reprise de Pelosi et al. (2021).

3. Contribution au développement territorial

Le projet PSDR4 DYNAMIQUES a pour objectif principal de produire des connaissances et des outils pouvant servir à une cohabitation la plus harmonieuse possible entre la biodiversité, le milieu périurbain et les activités agricoles. Cette thématique correspond aux enjeux de l'Île-de-France qui est à la fois une région avec une forte activité agricole puisqu'environ la moitié des surfaces de la région sont utilisées pour l'agriculture, mais aussi la région la plus urbanisée de France, avec une proportion en augmentation constante de ses surfaces classifiées en milieu urbain ou périurbain. Cette augmentation des surfaces urbaines et périurbaines se fait principalement au détriment des surfaces agricoles, ce qui menace le potentiel de production de la région, alors même que la demande pour des produits agricoles locaux est en très forte augmentation. Au niveau du territoire, cette problématique de tensions entre activités agricoles, urbanisation et biodiversité est particulièrement prégnante en raison de la construction de Paris Saclay, associée à l'existence d'une ZPNAF visant à pérenniser les activités agricoles ainsi qu'à un intérêt élevé des acteurs locaux pour la biodiversité.

Dans le cadre de cette problématique, le projet a permis le développement de grands jeux de données sur la biodiversité du territoire d'étude, qui ont été intégrés dans la base de données naturalistes de l'Île de France, CETTIA, ainsi que dans la base de données de science participative sur les insectes pollinisateurs SPIOLL, permettant ainsi à la fois de connaître les enjeux en termes de biodiversité du territoire, de contribuer au niveau régional à faire connaître le patrimoine naturel francilien, et à alimenter les connaissances au niveau national et mondial puisque ces données sont transmises à l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) et au Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Au niveau territorial, la valorisation de ces données s'est faite de plusieurs façons, à la fois en direction du grand public par des actions de vulgarisation réalisées sous des formes variées (randonnées naturalistes, conférences participatives, jeu sérieux avec SCube, posters, animations, unité d'enseignement, etc.), en direction des agriculteurs grâce à la médiation de Terre et Cité, et enfin en direction des décideurs locaux à la fois lors des rencontres avec les acteurs du territoire organisées par Terre et Cité, lors d'interactions comme celles avec l'EPAPS, l'Etablissement d'Aménagement Paris Saclay pour contribuer à intégrer la biodiversité dans les décisions d'aménagement, et par la participation aux Assises Nationales de la Biodiversité.

Les résultats du projet vont aussi pouvoir être utilisés pour nourrir les réflexions sur l'aménagement du territoire ainsi que sur les pratiques des acteurs du territoire. Le projet a en effet montré que les mares situées sur le territoire, qui ont un rôle écologique particulièrement important, présentent des profils de contamination très variés, principalement corrélés à l'usage agricole pour le compartiment eau et principalement corrélés à l'usage urbain pour les sédiments, ces derniers présentant dans certains cas une accumulation d'hydrocarbures potentiellement toxiques pour la biodiversité. Ces résultats incitent à une réflexion à la fois sur les pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires et sur les mesures possibles de réduction de la pollution aérienne. Le projet a également permis de montrer que dans les espaces urbanisés des territoires périurbains, les jardins privés représentaient un type espace particulièrement favorable pour les insectes pollinisateurs, conduisant à une interaction positive des espaces agricoles et urbanisés pour le service de pollinisation. En parallèle, le projet a montré qu'il existait un déficit du service de pollinisation dans les espaces entièrement agricoles du territoire, déficit qui est potentiellement dommageable pour les rendements des cultures nécessitant une pollinisation comme le colza et le tournesol pour les grandes cultures, ou le maraîchage et l'arboriculture. Les résultats du projet suggèrent que ce déficit pourrait être au moins en partie compensé dans les zones de lisières entre les espaces agricoles et urbanisés.

Remerciements

Les études présentées dans cet article ont reçu le soutien financier accordé par le 4e programme PSDR (INRAE, Région, Union Européenne) dans le cadre du projet « DYNAMIQUES » ainsi que le soutien financier du labex BASC.

L'ensemble des publications relatives aux 33 projets du programme PSDR4 est consultable : <https://www.psdr.fr/>

Références bibliographiques

4 pages synthétisant le projet : <http://www.psdr.fr/archives/INS1528PDFN1.pdf>

Ceballos G., Ehrlich P.R., Barnosky A.D., García A., Pringle R.M., Palmer T.M., 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*, 1(5), e1400253.

Ceballos G., Ehrlich P.R., Dirzo R., 2017. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096.

- Crist E., Mora C., Engelman R., 2017. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 356(6335), 260-264.
- Cusin F., Lefebvre H., Sigaud T., 2016. La question périurbaine. *Revue française de sociologie*, 57(4), 641-679
- Grimm N.B., Foster D., Groffman P., Grove J.M., Hopkinson C.S., Nadelhoffer K.J., Peters D.P., 2008. The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), 264-272.
- Leve M., Baudry E., Bessa-Gomes C., 2019. Domestic gardens as favorable pollinator habitats in impervious landscapes. *Sci Total Environ* 647: 420-430
- McKinney M.L., 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban ecosystems*, 11(2), 161-176
- Nélieu S., Lamy I., Karolak S., Delarue G., Crouzet O., Barraud C., Bimbot M., Allaoui F., Hanot C., Delorme A., Lévi Y., Hulot F.D., Baudry E., 2020. Impact of peri-urban landscape on the organic and mineral contamination of pond waters and related risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Pelosi C., Baudry E., Schmidt O., 2021. Comparison of the mustard oil and electrical methods for sampling earthworm communities in rural and urban soils. *Urban Ecosystems*, 24(2), 355-364.
- Renaud E., Baudry E., Bessa-Gomes C., 2020. Influence of taxonomic resolution on mutualistic network properties. *Ecology and Evolution* 10(7), 3248-3259.
- Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Galetti M., Alamgir, M., Crist E., ... & 15,364 scientist signatories from 184 countries, 2017. World scientists' warning to humanity: A second notice. *BioScience*, 67(12), 1026-1028.
- Winfree R., Gross B.J., Kremen C., 2011. Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics*, 71, 80-88.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son DOI)