Les insectes en agroforesterie : Restitution

L. Marchal, S. Boyer, I. Arnault

Dans le cadre de deux projets de recherche, COBALT (« Le contrôle Biologique en agroforesterie, quelle valeur ajoutée et comment l'optimiser ? », financé par la Fondation de France) et ARCCADIE (« Agroforesterie et changement climatique affectant la diversité des interactions entomologiques », financé par l'Office Français de la Biodiversité), l'Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte a mené en 2022 des études sur les insectes dans les systèmes agroforestiers de la région Centre-Val-de-Loire.

Les parcelles cultivées en agroforesterie abritent généralement une grande biodiversité entomologique. En effet, contrairement aux systèmes conventionnels de monoculture, la présence d'arbres fournit des zones refuges pérennes, des ressources nutritives supplémentaires ou alternatives, et induit un effet tampon sur les fluctuations de température. Cette dernière caractéristique est particulièrement importante dans le contexte climatique actuel, marqué par un réchauffement global des températures ainsi que des événements extrêmes plus fréquents.

Cependant, les effets de la température sont fortement dépendants des échelles considérées, et de récents travaux ont démontré que la marge de tolérance thermique des insectes se trouve sous l'influence de variations microclimatiques à très petite échelle, comme par exemple à l'échelle de la feuille pour les insectes phytophages. Pour un déploiement optimal des systèmes agroforestiers permettant une gestion efficace de la biodiversité entomologique et des services écosystémiques associés (ex : pollinisation, contrôle biologique), il est donc essentiel de mesurer finement les variations de température à une échelle pertinente pour les insectes.

Dans ce contexte, nous avons cherché à déterminer l'effet de l'agroforesterie :

- sur les températures,
- sur le développement des ravageurs,
- sur le contrôle des ravageurs,
- et sur les insectes pollinisateurs.

Pour ce faire, nous avons travaillé sur 13 couples de parcelles (une parcelle agroforestière, et une parcelle témoin suivant le même itinéraire technique mais sans arbre) en région Centre-Val-de-Loire. L'intérêt de travailler avec des couples de parcelles est de pouvoir mettre plus facilement en évidence un effet de l'agroforesterie. Le type de sol, les pratiques agricoles, ou le paysage alentour peuvent en effet avoir une influence sur la biodiversité : comparer une parcelle agroforestière à une parcelle témoin aussi similaire que possible permet de s'affranchir de l'hétérogénéité des parcelles.

Effet de l'agroforesterie sur les températures :
Les arbres jeunes et espacés ont peu d'effets sur la température moyenne, mais fournissent des micro-habitats thermiques localisés

Les températures ont été enregistrées grâce à des capteurs de type HOBO protégés par des boucliers antiradiations, qui enregistrent la température de l'air toutes les 5 minutes. Des capteurs ont été placés en bordure de ligne d'arbres et à mi-distance des lignes d'arbres dans les parcelles agroforestières, et aléatoirement dans les parcelles témoins. Pour chaque point de mesure, un capteur était placé au sol, et si la culture faisait plus de 20 cm de haut, un second capteur était placé à hauteur de la culture. Pour chaque couple de parcelle, un capteur de référence était placé à 2 mètres de haut.

Capteur HOBO et bouclier en haut à gauche ; schéma de pose des capteurs dans les cultures en bas à gauche ; HOBO de référence à 2m de hauteur à droite.

Les premiers résultats montrent qu'au printemps, il n'y a pas de différence de température moyenne entre les parcelles agroforestières et leur témoins respectifs. Les résultats des températures relevées en été sont encore en cours d'analyse. Mais des photos thermiques prises le 17 juin 2022 montrent qu'à l'ombre des arbres, les températures de surface de la culture sont inférieures de presque 10°C à l'ombre par rapport au plein soleil.

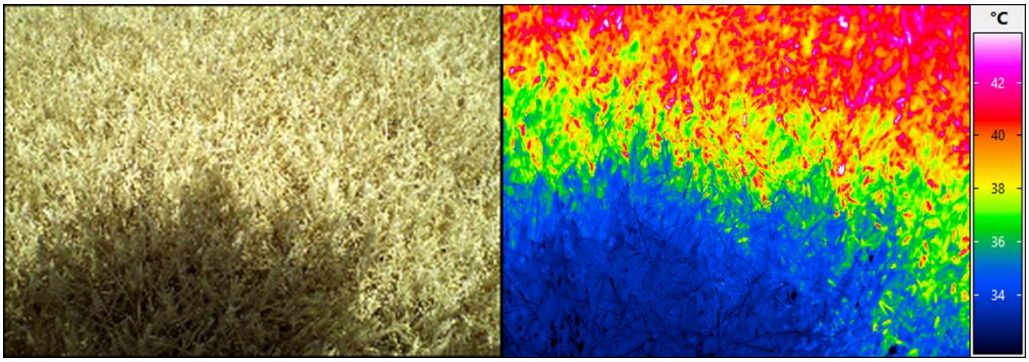
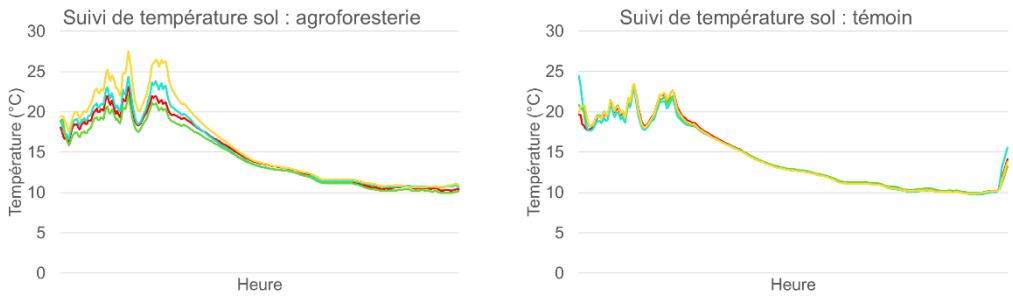


Photo en lumière visible à gauche et photo thermique des températures de surface à droite d'une culture de blé en bordure d'une ligne d'arbres agroforestiers.

Si la température moyenne ne change pas, il pourrait par ailleurs y avoir une plus grande variabilité des microclimats thermiques en agroforesterie. En comparant les températures au sol sur seul couple de parcelle au cours d'une journée, on voit qu'il y a plus de différences entre les différents points de mesure en agroforesterie par rapport au témoin, même au printemps.



Relevé des températures journalières au sol dans une parcelle agroforestière (à gauche) et son témoin (à droite) au printemps par différents capteurs.

L'agroforesterie va influer sur les températures d'une parcelle via deux paramètres : l'ombrage, et l'effet coupe-vent. Toutes les parcelles étudiées sont plantées d'arbres jeunes avec une canopée assez peu développée, donc un ombrage réduit ; et les arbres sont espacés de plusieurs mètres, l'effet coupe-vent est donc lui aussi réduit. Au printemps, les températures sont douces et les arbres jeunes auront peu d'effet sur les températures. En été les températures sont beaucoup plus chaudes, et il y a un effet potentiellement important des arbres. Mais cet effet est très localisé, et limité à la zone autour de l'ombrage de l'arbre.

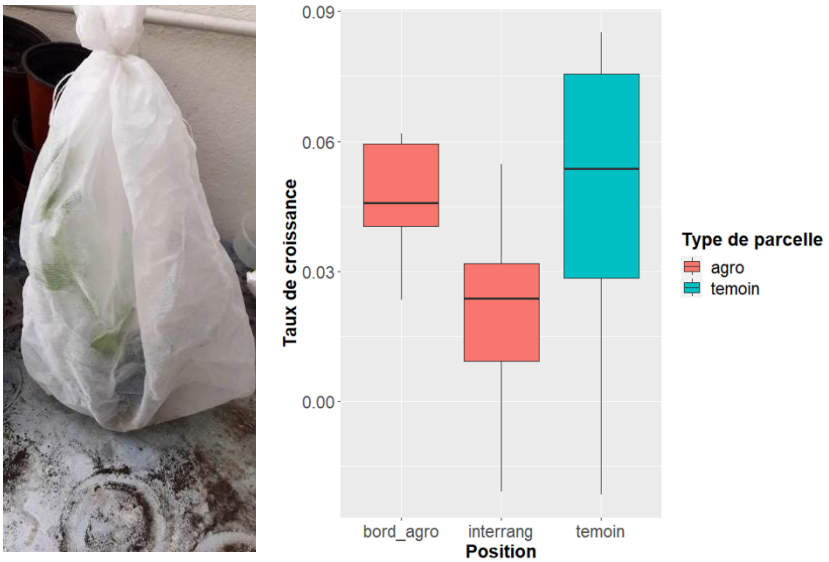
Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus dans d'autres études. Avant 20 ans, les jeunes arbres ont peu ou pas d'effet sur la température. Mais les arbres plus âgés et plus grands peuvent avoir un effet sur la température, notamment pendant les mois les plus chauds. L'agroforesterie est donc une stratégie à long terme pour réguler les températures dans une parcelle.

Effet de l'agroforesterie sur la croissance des ravageurs :
Les pucerons se développent de façon hétérogène dans les parcelles agroforestières

Pour étudier l'effet de l'agroforesterie sur la croissance des ravageurs, nous nous sommes intéressés aux pucerons, qui sont des ravageurs de nombreuses cultures.

Pour étudier la croissance des pucerons, nous avons utilisé des colonies sentinelles de croissance. Il s'agit de plantes sur lesquelles sont placés un nombre connu de pucerons, et enfermées dans un sac dont les insectes ne peuvent ni entrer ni sortir. Les pucerons correspondaient à une espèce ne pouvant pas se développer sur les plantes cultivées dans les parcelles afin d'éviter un apport potentiel de ravageur en cas d'évasion. Les colonies sont laissées en place 10 jours puis récupérées, et le nombre de pucerons est compté pour calculer un taux de croissance de la colonie. Des colonies ont été placées en bordure de ligne d'arbres et à mi-distance entre les lignes d'arbre (inter-rang) dans les parcelles agroforestières, et aléatoirement dans les parcelles témoin. Les résultats montrent que la croissance des pucerons est très variable : certaines colonies se développent vite, d'autres ne présentaient plus du tout de pucerons à la récupération. Il n'y a pas de différence de croissance des pucerons entre les parcelles agroforestières et les témoins. En revanche, au sein d'une parcelle agroforestière, les pucerons se développent moins vite entre les lignes d'arbre. On peut supposer que

les différences observées au sein des parcelles agroforestières sont liées à l'hétérogénéité thermique des parcelles, et que les températures étaient moins favorables aux pucerons dans l'inter-rang, mais il reste à analyser les données de température des colonies pour vérifier cette hypothèse.



Colonie de croissance : plante ensachée à gauche ; résultat du taux de croissance des pucerons en fonction de la position de la colonie à droite.

Il serait intéressant de refaire cette expérimentation, pour augmenter le nombre de réplications et avoir des résultats sur plusieurs années, indépendant de conditions uniques et non liées à l'agroforesterie qui pourraient expliquer la disparition de certaines colonies.

Effet de l'agroforesterie sur le contrôle des ravageurs : Parasitoïdisme
Un protocole validé avec des parasitoïdes présents, mais une expérimentation à refaire

Le parasitoïdisme est une forme de parasitisme ou le parasitoïde se développe à l'intérieur de son hôte et le tue. Chez les pucerons, les parasitoïdes sont des micro-guêpes qui transforment le puceron en momie, ce qui les rend faciles à détecter.

La guêpe *Diaeretiella rapae* parasitoïde des pucerons, émergeant d'une momie de puceron à gauche et adulte à droite. Echelle 1mm. Photos M. Goutier, IRBI.

Afin de tester l'effet de l'agroforesterie sur la diversité et l'abondance des parasitoïdes, nous avons mené une expérimentation similaire à celles des colonies de croissance, mais avec des sacs en tulle avec une maille plus large pour permettre le passage des guêpes parasitoïdes. Ces colonies ont été placées dans les parcelles mi-juin, lorsque les cohortes de parasitoïdes sont bien développées. Après une exposition au parasitoïde de quelques jours sur le terrain, le principe est de récupérer les colonies et de les garder en vie au laboratoire pour permettre l'émergence des parasitoïdes. Malheureusement, les conditions climatiques chaudes et très sèches de cette période ont entraînées la fanaison des plantes hôtes, et très peu de colonies portaient encore des pucerons à la récupération. Quelques momies ont cependant été récupérées, ce qui permet de valider la méthode. Mais leur nombre est trop faible pour permettre des analyses robustes. Il faudrait refaire cette expérimentation, en adaptant le protocole afin de garantir la survie des plantes hôtes pendant le temps d'exposition sur le terrain. Puisque les premières momies avaient été observées dès le mois d'avril dans les parcelles, cette expérimentation pourrait être répétée plus tôt dans la saison afin d'éviter les périodes de fortes chaleurs.

Effet de l'agroforesterie sur le contrôle des ravageurs : Prédation
Un effet couplé de l'agroforesterie et des températures

La prédation a été mesurée à l'aide de cartes de prédation. Il s'agit de petites bandelettes de papier de verre sur lesquelles sont collés trois pucerons. Ces cartes sont laissées en place dans les parcelles pendant 24h et le nombre de pucerons restant est compté afin de déterminer un taux de prédation. Pour chaque point de mesure nous avons placé des cartes au sol, et dans les feuilles des cultures (« canopée »), associées à des capteurs de température. Des cartes ont été mises en place au printemps et en été.

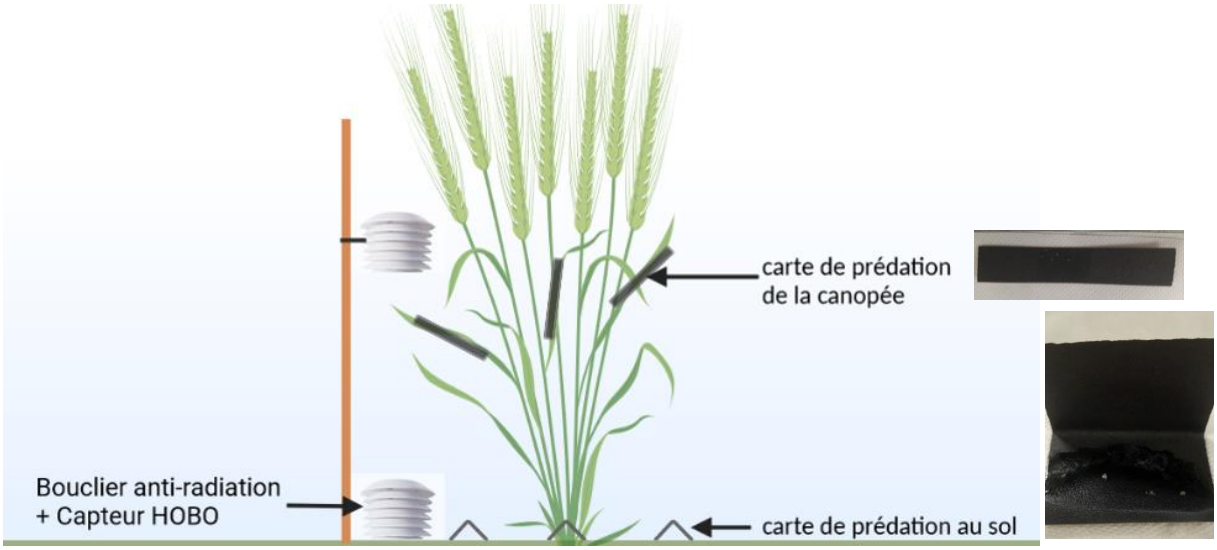


Schéma de l'expérimentation des cartes de prédation

Seules les données correspondant au printemps ont été analysées pour le moment. On observe qu'il y a un effet conjoint de la température et du type de parcelle sur la prédation au sol. En parcelle agroforestière, la prédation augmente avec la température moyenne ; alors qu'en parcelle témoin, le taux de prédation reste relativement constant. Dans les feuilles, la prédation au printemps est

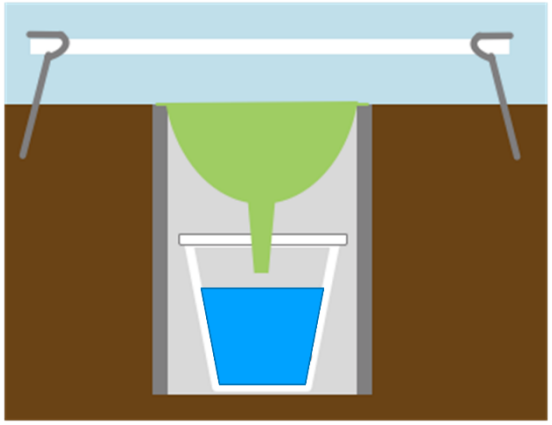
beaucoup plus faible et il n'y a pas de différence du taux de prédation selon les parcelles ou la température ambiante.

Il reste des données à analyser, mais on peut émettre l'hypothèse qu'en agroforesterie la présence de micro-habitats thermiques permet de servir de refuge aux prédateurs, qui peuvent être plus actifs quand la température augmente. Ceci pourrait être confirmé par les données de l'été, quand les températures sont plus chaudes.

Par ailleurs, nous avons testé l'impact du mode de gestion. Il y a sans surprise plus de prédation dans les parcelles en agriculture biologique, et moins dans les parcelles conventionnelles. Les données du printemps seules ne permettent pas de mettre en évidence un effet synergique entre le type de gestion et l'agriculture, car la prédation reste modérée en début de saison notamment dans les feuilles ; mais il a été montré dans d'autres études que l'effet de l'agroforesterie sur la prédation dépend de la méthode de gestion.

En plus de cette mesure de la prédation, nous avons effectué des relevés de la faune du sol afin d'identifier les prédateurs potentiels présents sur les parcelles. Pour cette expérimentation, nous avons utilisés des pièges Barbers, qui consistent en des pots enterrés dans le sol et contenant un liquide de préservation, surmonté d'un entonnoir ; la faune qui passe tombe dedans. Le but de cette expérience est double. Le premier est d'avoir une idée des prédateurs terrestres comme éventuel facteur explicatif des taux de prédation observés. Le deuxième est de faire suite à des projets régionaux entrepris par le CETU Innophyt environ 7 ans auparavant. Lors de ces études, des relevés avaient été effectués dans 5 parcelles. En répétant l'expérience sur ces cinq mêmes parcelles, nous pouvons étudier l'évolution de la faune au cours du temps, à mesure que les arbres grandissent. Nous souhaitons notamment pouvoir comparer le régime alimentaire des Coléoptères Carabidae par des méthodes de biologie moléculaire (en analysant le contenu de leur tube digestif).

Pour l'instant seuls les Carabidae de deux couples de parcelles ont été identifiés, et aucune tendance claire, que ce soit sur le nombre d'espèce ou leur abondance, n'a pu être mise en évidence.

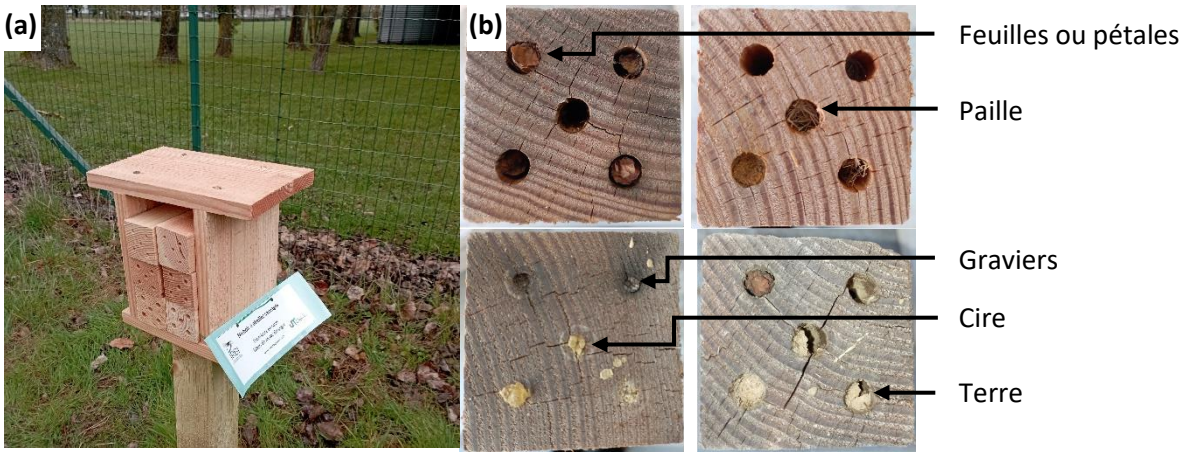


A droite : schéma d'un piège barber. A gauche : le Carabidae *Poecilus cupreus*, espèce la plus présente dans nos échantillons (photo U.Schmidt, 2008, Wikimedia commons)

Effet de l'agroforesterie sur les pollinisateurs
Beaucoup d'abeilles encore en cours d'émergence

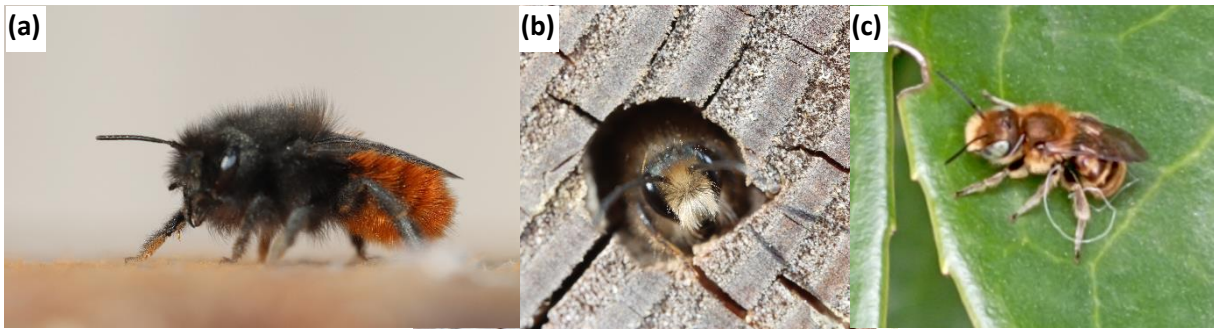
Pour tester l'effet de l'agroforesterie sur les pollinisateurs, nous avons mis en place des nichoirs à abeilles sauvages de type TORII (Totem pour l'Observation de la Reproduction et l'Identification des Insectes, www.zerodechettouraine.org) sur chaque parcelle. Chaque nichoir contient six lambourdes,

chacune percée de cinq galeries, avec trois tailles de galeries différentes, dans lesquelles les abeilles nichant dans le bois peuvent se développer. Ces nichoirs ont été mis en place de Mars à Novembre 2022, et conservé après récupération afin de comptabiliser les abeilles qui en émergent avant de les libérer. A la récupération, les lambourdes présentaient différents types de fermeture des galeries, caractéristiques de différentes espèces d'abeilles sauvages. Par exemple la terre est généralement utilisée par les abeilles du genre *Osmia* ; les feuilles par les *Megachile*, la résine par les *Heriades* ; tandis que la présence de paille pourrait indiquer que l'abri n'a pas été colonisé par une abeille, mais par une guêpe prédatrice.



Nichoirs à abeilles sauvages. A gauche, abri Torii sur le terrain. A droite, lambourdes occupées par différentes espèces d'abeilles sauvages.

Les premières abeilles ont commencé à émerger la semaine du 09 février 2022. Près de 1200 abeilles sont sorties à ce jour, appartenant à une quinzaine d'espèces, mais principalement des osmies. De nombreux nichoirs ont également abrité des diptères (et quelques hymenoptères) potentiellement parasites des abeilles.

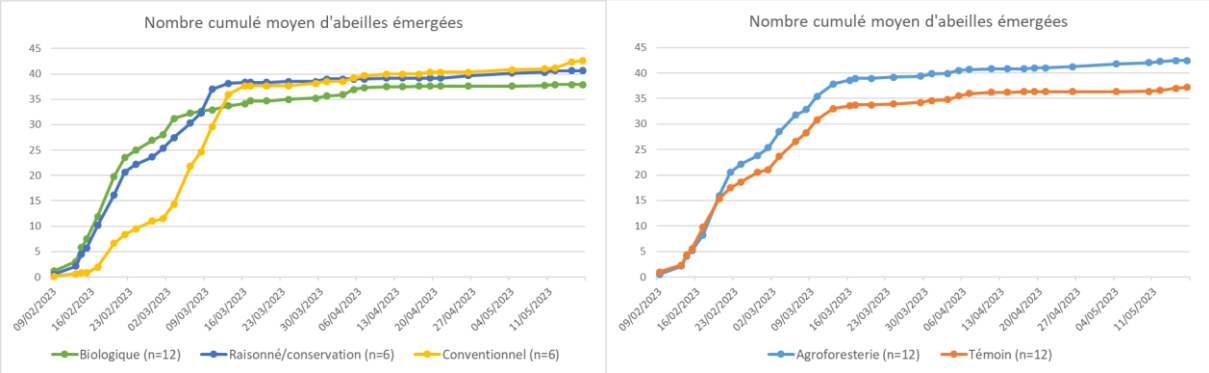


Exemples d'abeilles ayant émergé des nichoirs. **(a)** *Osmia cornuta* femelle. **(b)** *Osmia sp.* mâle en train de sortir de sa galerie. **(c)** Potentiellement *Anthidium* sp. Photos (a) et (b) : D. Demazier, IRBI.

Les abeilles sont encore en train d'émerger, il s'agit donc là de résultats préliminaires.

En début de saison, il y avait plus d'abeilles émergentes en agriculture biologique ou raisonnée qu'en agriculture conventionnelle, mais l'écart se réduit avec le temps. Il s'agit essentiellement des osmies, premières abeilles à émerger, qui semblent sortir plus tardivement en agriculture conventionnelle. On peut supposer qu'en agriculture conventionnelle, les abeilles ont été pondues plus tard, ou que la qualité des ressources est moindre et par conséquent le développement est plus long ; mais cela reste à prouver.

On ne voit pas d'effet de l'agroforesterie sur le nombre cumulé moyen d'abeilles émergées : à quelques abeilles près, il y en a le même nombre entre les parcelles agroforestières et les témoins.

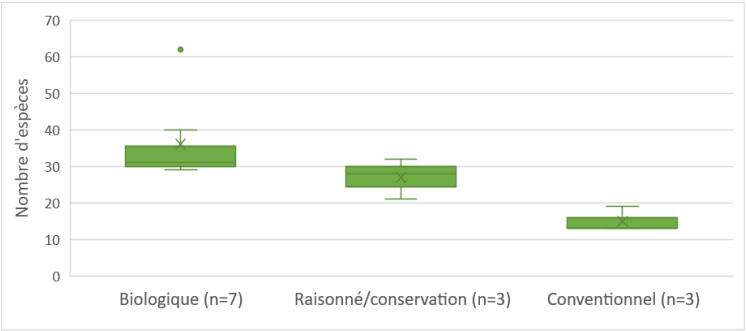


Nombre cumulé moyen d'abeilles par nichoir au cours du temps. A gauche : selon le mode de gestion. A droite : selon le type de parcelle.

Cette absence de différence peut être due à la proximité des parcelles agroforestières et de leurs témoins. En effet, les abeilles sont des espèces mobiles, et le plus souvent la parcelle agroforestière et la parcelle témoin étaient côte à côte, à quelques dizaines de mètres parfois seulement l'une de l'autre. Il est donc possible que les abeilles des nichoirs placés en parcelles témoins se soient déplacées jusqu'à la parcelle agroforestière la plus proche pour profiter des ressources disponibles. Il est également possible que la complexité du paysage et la proportion d'habitats naturels à plus grande échelle aient une influence plus importante que la présence d'arbres au sein de la parcelle agroforestière. Par ailleurs, il s'agit là uniquement des résultats sur le nombre d'individus. Les parcelles agroforestières et témoins pourraient abriter un nombre similaire d'abeilles, mais pas la même diversité en espèce.

Pour tester cela, nous souhaitons identifier les espèces d'abeilles ayant colonisé les nichoirs ainsi que les pollens collectés pour nourrir les larves, par des méthodes de biologie moléculaire. Ceci sera fait dès que les abeilles auront fini d'émerger.

Nous avons également effectué un inventaire botanique des bandes agroforestières (arbres et bande enherbée), qui nous permettront de savoir les pollens utilisés par les abeilles proviennent de l'agroforesterie, ou d'autres éléments du paysage. Autrement dit, dans quelle mesure les bandes agroforestières sont favorables aux abeilles en leur fournissant des ressources.



Richesse spécifique moyenne des plantes dans les bandes agroforestières selon le mode de gestion.

Les plantes ont été identifiées, et si les résultats n'ont pas été analysés statistiquement, la richesse spécifique (nombre d'espèces) des parcelles en agriculture biologique semble supérieure à celle des parcelles conventionnelles.

Pour les pollinisateurs, il est important de noter que notre expérimentation ne permet d'étudier que les abeilles nichant dans les trous du bois. Or, en France 70% des abeilles sauvages sont terricoles, et requièrent des zones de terre nue. L'agroforesterie permet de laisser dans les parcelles cultivées des zones de sol non travaillées par les engins agricoles, qui pourraient permettre le développement de ces abeilles. Mais d'autres méthodes sont nécessaires pour étudier ces pollinisateurs sauvages.

Conclusion

De nombreuses données sont encore en cours d'analyse, mais les premiers résultats sont prometteurs sur le potentiel de l'agroforesterie pour le maintien de services écosystémique et la protection de la biodiversité.

Nous remercions nos partenaires qui nous ont conseillé lors de cette étude, ainsi que les agriculteurs qui ont accepté de nous laisser accéder à leurs parcelles pour mener à bien ces expérimentations.

Afin de poursuivre nos recherches sur les insectes en agroforesterie, nous vous invitons à répondre à un petit questionnaire pour déterminer vos attentes par rapport à ce type d'étude. Cela nous permettra de mettre au point des expérimentations qui pourraient répondre aux questions que vous vous posez par rapport à ce que vous apporte l'agroforesterie dans notre domaine d'expertise.

Ce questionnaire est accessible via ce lien ou QR code :
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfgBd0xTH7710e7SkMxkQja-3M_ohGVkT8UzvpmwXHzAQ7GZw/viewform?usp=sf_link