

# Des solutions agroécologiques prometteuses en maraîchage sous abri froid

## Projet COSYNUS et biodiversité fonctionnelle



Promising agroecological solutions growing vegetables in unheated greenhouses – The COSYNUS project and functional biodiversity



Le projet COSYNUS explore des solutions résilientes pour réduire les intrants phytosanitaires en maraîchage sous abri froid, en s'appuyant sur la biodiversité fonctionnelle et les infrastructures agroécologiques. Les résultats révèlent des succès prometteurs dans la régulation des ravageurs, mais aussi des défis, notamment pour la gestion des acariens tétranyques ou l'appropriation des leviers par les producteurs.

### Auteur(s)

Pierre Lasne  
CTIFL

### Co-auteur(s)

Jérôme Lambion  
GRAB  
Anthony Ginez  
APREL  
Benjamin Gard  
CTIFL

### # Mots-clés

#agroécologie  
#biodiversité fonctionnelle  
#élevage du parasite/  
auxiliaire  
#insecte auxiliaire

**Les données clés à retenir** Les infrastructures agroécologiques favorisent la biodiversité fonctionnelle et la régulation naturelle des ravageurs. La régulation des pucerons et des thrips est efficace grâce aux interventions réalisées avec un IFT de 0 (produits de synthèse et biocontrôle). Le transfert actif d'auxiliaires, bien qu'exigeant en termes de planification, offre une solution rapide, efficace et économique pour la protection des cultures. Les règles de décision éprouvées sur pucerons ont permis de maîtriser la pression. Les acariens tétranyques restent difficiles à maîtriser, nécessitant une amélioration des stratégies de gestion. La combinaison de biodiversité fonctionnelle et de stratégies ciblées réduit les charges d'intrants mais augmente les charges de main-d'œuvre, tout en maintenant des rendements compétitifs.

**Key points** Agroecological infrastructures promote functional biodiversity and natural pest regulation. Aphid and thrips control is effective thanks to interventions carried out with an TFI of 0 (synthetic and biocontrol products). The active transfer of beneficial insects, which is demanding in terms of planning, offers a rapid, effective and economical solution for crop protection. Tried-and-tested decision rules for aphids kept populations under control. Spider mites remain difficult to control, requiring improved management strategies. The combination of functional biodiversity and targeted strategies reduces input costs but increases labour costs, but at the same time maintaining competitive yields.

## Démarche expérimentale et succession culturale

Afin d'optimiser les interventions et d'adopter des pratiques utilisables en conditions de production, le projet COSYNUS a été réfléchi et construit *via* une approche « système » dès le début. Les cultures choisies, à savoir l'aubergine et le concombre, sont très sensibles aux ravageurs, ce qui génère pertes de récolte et/ou utilisation de produits phytosanitaires. Un atelier de coconstruction a permis d'identifier les meilleures stratégies d'installation d'infrastructures agroécologiques sur les sites expérimentaux du GRAB, de l'APREL et du CTIFL. Les stratégies, évaluées selon différents critères, ont été discutées avec l'ensemble des partenaires du projet puis adaptées avant leur mise en œuvre. Les trois sites partagent une rotation de culture identique – Solanacées, salades, Cucurbitacées – sur six ans, favorisant une diversification et une réduction des bioagresseurs. Des aménagements agroécologiques similaires sont installés sur l'ensemble des sites, avec des ajustements locaux. Un système de règles de décision (RDD), élaboré de façon participative et mis à jour chaque année, guide la gestion des pucerons en intégrant des critères tels que l'état des cultures, la pression des nuisibles et la présence d'auxiliaires. Les observations hebdomadaires aboutissent alors à des décisions adaptées, de la simple vigilance aux interventions de traitements ou d'arrachages des plants infestés. Chaque année, ces pratiques sont évaluées qualitativement pour affiner les règles, assurant une amélioration continue des stratégies grâce aux retours d'expérience concrets.

## Bande fleurie intérieure MUSCARI et bande fleurie extérieure semi-spontanée

Les planches de culture de l'expérimentation menée sur l'antenne CTIFL de Brindas sont entourées d'une bande fleurie intérieure MUSCARI et d'une bande fleurie extérieure semi-spontanée ainsi que de zones réservoirs (Figure 1). La diversité des auxiliaires présents dans les bandes fleuries intérieures et extérieures est représentée dans la figure 2. Sur la bande fleurie intérieure (mélange MUSCARI semé), un total de 1 450 individus est aspiré sur l'ensemble des 47 échantillonnages, soit en moyenne 30,9 individus par aspiration. Pour ce qui est de la bande fleurie extérieure (mélange semi-spontané), un total

Figure 1 | Plan de l'expérimentation menée sur l'antenne CTIFL de Brindas dans un tunnel de 40 m de long et 6 m de large

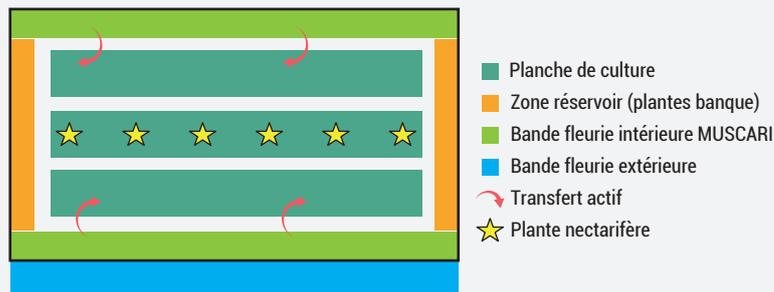
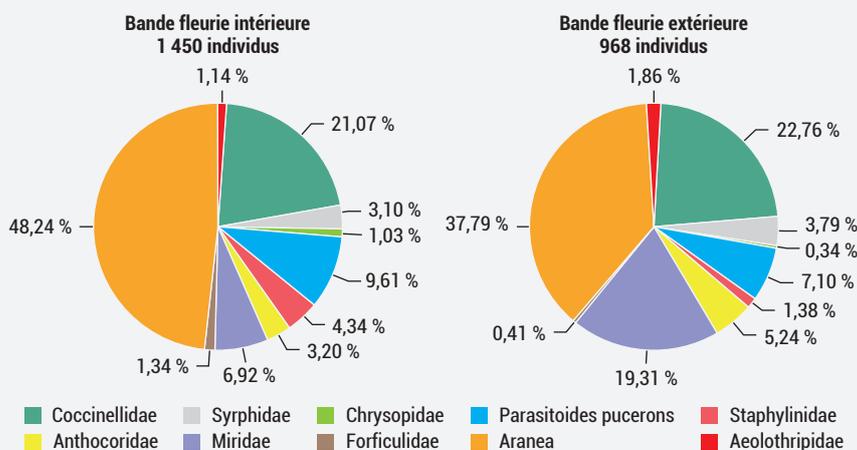


Figure 2 | Répartition par taxon des auxiliaires échantillonnés sur les bandes fleuries intérieure et extérieure, sur les 6 ans du projet soit 47 aspirations



## Définitions

- **Expérimentation système** : L'expérimentation système est une démarche expérimentale pour tester un système de culture en conditions réelles. Elle consiste à concevoir, mettre en œuvre expérimentalement, mettre au point et évaluer un système de culture cohérent. Elle permet d'évaluer la faisabilité technique et la cohérence agronomique d'un système, sa capacité à atteindre les objectifs assignés initialement, ainsi que ceux plus généraux de durabilité, d'améliorer les connaissances de l'effet d'un système sur son agroécosystème.
- **Levier** : Un levier désigne une action ou une pratique agricole modifiable et ciblée, dont l'impact est testé pour améliorer le fonctionnement global d'un système. Ces leviers sont souvent liés à des enjeux spécifiques, tels que l'amélioration des rendements, la réduction des intrants, la préservation des ressources naturelles ou encore l'adaptation au changement climatique.
- **Règles de décision** : Une règle de décision est le lien logique entre des objectifs et les actions à mettre en œuvre dans chacune des situations rencontrées dans un contexte donné. Cette règle permet d'adapter les décisions d'intervention au champ, en fonction de l'état du milieu et/ou du couvert dans la parcelle cultivée. Il existe deux types de règles : les règles stratégiques (ou méta-règles) et les règles opérationnelles. Elles peuvent être des routines (règles de décision systématiques) ou des règles de décision conditionnelles de type « si ..., alors ..., sinon ... ».
- **Schéma décisionnel** : Le schéma décisionnel est une formalisation sous forme de schéma(s) synoptique(s) du système décisionnel. Il comprend les attentes (déclinaison concrète des objectifs) pour lesquelles le système a été conçu, les stratégies de gestion et les méta-règles qui orientent la construction et la gestion des règles de décision et du plan d'action, ainsi que les règles de décision qui vont piloter la mise en œuvre de chaque intervention technique.

de 968 individus est échantillonné durant les 6 ans du projet soit une moyenne de 20,6 individus par aspiration. La bande fleurie intérieure présente une quantité d'auxiliaires 50 % supérieure à la bande fleurie extérieure. La diversité botanique, l'étalement de la floraison et le rôle de plantes ressource du mélange MUSCARI ont donc permis de favoriser la présence des auxiliaires à l'intérieur de la serre.

Les bandes fleuries intérieure et extérieure montrent une quantité similaire d'auxiliaires spécialistes de pucerons. Ces auxiliaires représentent plus d'un tiers des auxiliaires échantillonnés avec 33,99 % des auxiliaires pour la bande fleurie intérieure et 34,81 % pour la bande fleurie extérieure. Ces auxiliaires spécialistes s'attaquent directement aux aphides : Coccinellidae, Syrphidae, Chrysopidae et parasitoïdes de pucerons. Les araignées représentent une grande part des auxiliaires échantillonnés dans les deux bandes fleuries : 37,79 % pour la bande fleurie intérieure et 48,24 % pour la bande fleurie extérieure. Les autres auxiliaires généralistes, qui ont des proportions très proches, font partie du genre des Miridae, des Staphylinidae, des Anthocoridae ou encore des Forficulidae. La proportion d'auxiliaires spécialistes de pucerons reste similaire entre les deux types de bande-fleuries. Le mélange MUSCARI ne semble donc pas attirer plus spécifiquement les auxiliaires spécialistes de pucerons, en revanche son abondance en auxiliaires est plus importante. De fait, la facilité d'installation et l'apport en biodiversité non négligeable font de ce mélange une infrastructure intéressante pour la régulation naturelle en culture sous abri.

### Une maîtrise satisfaisante des principaux ravageurs

Afin d'évaluer la performance du système dans la régulation des ravageurs, les attaques et leur gestion sont analysées sur six ans selon plusieurs critères. Début et fin des attaques sont déterminés grâce aux règles de décision établies pour les pucerons, basées sur des seuils de nuisibilité, sur le pourcentage de plants attaqués, sur le nombre moyen de pucerons par feuille ainsi que sur le ratio de ravageurs sur auxiliaire spécialiste. Pour les acariens et les thrips, sans règle de décision spécifique, une attaque est définie dès qu'il y a plus d'un individu par feuille. Le ratio de ravageurs sur auxiliaire spécialiste, mesuré au pic des deux populations, en laissant un

intervalle de deux semaines au maximum entre le pic de ravageurs et le pic d'auxiliaires, permet de donner une indication sur l'installation de cette entomofaune et la capacité des auxiliaires à réguler les ravageurs. Pour déterminer si ce ratio est favorable à la régulation des ravageurs, trois seuils sont retenus : un seuil inférieur à 10 pour les thrips, un seuil inférieur à 20 pour les pucerons et un seuil inférieur à 30 pour les acariens. La durée avant la réduction de la pression des ravageurs permet de compléter l'évaluation de la performance. Cette combinaison de critères permet donc d'établir une appréciation de la régulation : bonne, modérée ou mauvaise. Le tableau de la figure 3 est un exemple de présentation des résultats concernant les pucerons, les données concernant les autres ravageurs ne sont présentées que sous forme de texte.

#### Puceron

La pression des pucerons est variable en fonction des années et des cultures. Ce ravageur est présent dès le début de la culture 5 années sur 6. Le ratio moyen au pic des populations est favorable à la régulation des ravageurs car il est inférieur à 20 ravageurs par auxiliaire spécifique, pour 4 années sur 6. Les deux dernières années d'essais ont montré des ratios moyens ravageurs/auxiliaire spécifique supérieur à 20 avec un ratio de 61,85 pucerons par auxiliaire sur aubergine en 2023 et 23,52 pucerons par auxiliaire sur concombre en 2024. La diminution de la population de ravageurs est inférieure à 2 semaines, 4 années sur les 6

d'évaluation. Il en découle donc une régulation naturelle bonne ou modérée 5 années sur 6. La dernière année témoigne d'une mauvaise régulation du fait d'une forte pression, couplée à une régulation tardive : la faible présence d'auxiliaires dans les infrastructures agroécologiques au printemps et les lâchers d'auxiliaires réalisés trop tardivement n'ont pas permis la régulation des pucerons malgré les différentes interventions réalisées.

#### Thrips

Les thrips apparaissent dans la culture en début de saison ou à mi-saison. Durant les 6 ans du projet, la régulation de ce ravageur est modérée à bonne. Pour les trois années de cultures de concombre, les thrips sont correctement régulés avec des ratios moyens au pic des populations inférieurs à 10 et des diminutions rapides de la population de ravageurs (inférieur à 16 jours). Cette régulation s'est mise en place rapidement grâce à des transferts actifs de *Macrolophus pygmaeus* tôt en saison et répétés (jusqu'à 5 transferts par an), ainsi que des lâchers d'acariens phytoséides *Amblyseius swirskii*.

En ce qui concerne les aubergines, le bilan est plus mitigé puisque pour les trois années de culture, la gestion des thrips est modérée. Le ratio moyen au pic des populations est considéré comme élevé car il est supérieur à 10 et est compris entre 15,74 et 164,93 ravageurs par auxiliaire spécifique. Néanmoins, les thrips n'ont pas occasionné de dégâts dommageables pour les rendements commercialisables d'aubergine et le nombre de jours avant

Figure 3 | Caractérisation de la maîtrise des pucerons

Culture	Période d'attaque	Paramètres		Régulation
		Ratio moyen au pic des populations ravageur/auxiliaire spécifique	Nombre de jours avant diminution de la population de ravageurs	
Aubergine 2019	Début de culture	6,65	16	Bonne
Concombre 2020	Début de culture	5,96	7	Bonne
Aubergine 2021	Début de culture	3,04	14	Bonne
Concombre 2022	Début de culture	10,85	13	Bonne
Aubergine 2023	Début de culture	61,85	14	Modérée
Concombre 2024	Mi-culture	23,52	Pas de diminution	Mauvaise

la diminution de la population est faible puisqu'il reste égal ou inférieur à 8 jours. L'aubergine est moins sensible aux thrips que la culture du concombre, ce qui réduit le besoin d'interventions.

### Acariens tétranyques

La pression des acariens tétranyques n'a pas pu être régulée 4 années sur 6. Durant les quatre premières années de culture, la régulation est caractérisée comme « mauvaise » car le ratio moyen au pic des populations est supérieur à 30 avec entre 30,92 et 741,70 ravageurs par auxiliaire spécifique. Aucune diminution de population n'est observée à la suite de ces pics. La pression débute en fin de culture et n'impacte que peu le rendement. Pour l'année 2023, la culture d'aubergine a subi deux attaques d'acariens de faible pression, rapidement régulées via les transferts actifs de *Macrolophus*, combinée à la forte présence d'auxiliaires indigènes comme *Orius laevigatus* et la gestion climatique de la serre (bassinage). L'année 2024 est caractérisée par une attaque modérée d'acariens sans diminution des populations. La pression de pucerons sur cette saison est telle que l'infestation d'acariens est restée secondaire.

### Évaluation technico-économique du système

La figure 4 présente le rendement et les déchets pour les six années d'expérimentation alternant les cultures d'aubergine et de concombre. Les cultures d'aubergine présentent un rendement commercialisable compris entre 5,98 kg/m<sup>2</sup> et 9,3 kg/m<sup>2</sup>. Ces rendements correspondent aux moyennes de rendement des aubergines dans un système de culture en sol sous abri froid (source : GRAB). Les fruits déclassés en déchets sont compris entre 0,85 kg/m<sup>2</sup> en 2021 et 1,22 kg/m<sup>2</sup> en 2023, ce qui correspond à une proportion de fruits déclassés compris entre 8,4 % en 2021 et 16,9 % en 2023 des fruits totaux. Les concombres présentent un rendement commercialisable compris entre 10,5 fruits/m<sup>2</sup> en 2024 et 15,96 fruits/m<sup>2</sup> en 2022. Le rendement moyen de cette culture est plus élevé et peut avoisiner les 19 fruits/m<sup>2</sup> de culture (source : GRAB). Le nombre de fruits déclassés en déchets est compris entre 6,32 fruits/m<sup>2</sup> en 2024 et 12,46 fruits/m<sup>2</sup> en 2022, ce qui correspond à une proportion de fruits déclassés compris entre 37,5 % en 2024 et 43,8 % en 2022.

La figure 5 présente les charges relatives à la gestion des bioagresseurs,

exprimés en €/m<sup>2</sup>, dans le système de culture COSYNUS comparé au système de référence. Les données prises en compte sont le coût des intrants dont les produits phytosanitaires, les auxiliaires exogènes, les semences de plantes de service, etc., ainsi que les temps et le coût de la main-d'œuvre destinée à cette gestion : lâchers d'auxiliaires, traitements phytosanitaires, gestion des infrastructures agroécologiques, etc. Des variations existent entre le système COSYNUS et le système de référence, entre les années et entre les types de culture. Le système COSYNUS, évalué au sein du CTIFL, présente des coûts d'approvisionnement en intrants sensiblement inférieurs au système de référence tout au long des 6 années de l'étude, avec une réduction moyenne sur les 6 années d'essai de 6,8 %. Cependant, les coûts en main-d'œuvre associés à la protection des cultures sont légèrement plus élevés dans ce système, affichant une augmentation moyenne de 2,9 % pour l'ensemble de la période. En tenant compte de l'ensemble des charges liées à la protection des cultures, le système COSYNUS permet de réduire les coûts de 0,19 €/m<sup>2</sup> malgré un besoin de main-d'œuvre plus important.

### Transfert actif d'auxiliaires

Le transfert actif d'auxiliaires est une technique consistant à capturer puis relâcher de manière ciblée des auxiliaires préalablement multipliés dans un lieu ou une culture spécifique afin de contrôler les ravageurs. Contrairement à une introduction passive dans laquelle les auxiliaires sont simplement introduits et dont la dispersion se fait naturellement, le transfert actif déplace efficacement des auxiliaires sur les cultures, directement sur les plantes qui en ont besoin, optimisant ainsi leur impact sur la régulation des nuisibles. Sur le site du CTIFL, dans la modalité COSYNUS, une vingtaine de transferts actifs sont réalisés avec deux auxiliaires d'intérêt : *M. pygmaeus*, transférés depuis le souci *Calendula officinalis*, et différentes espèces de Coccinellidae, transférés depuis la blette et le mélange MUSCARI. Ces interventions ont permis de calculer le coût moyen d'un auxiliaire selon les deux méthodes d'apport : le transfert actif d'auxiliaires indigènes retrouvés dans les infrastructures agroécologiques aux abords de la parcelle et le lâcher d'auxiliaires exogènes commercialisés. Le temps de gestion des infrastructures agroécologiques, le temps de capture des auxiliaires,

Figure 4 | Rendement commercialisable et déchets pour les cultures de concombre et d'aubergine

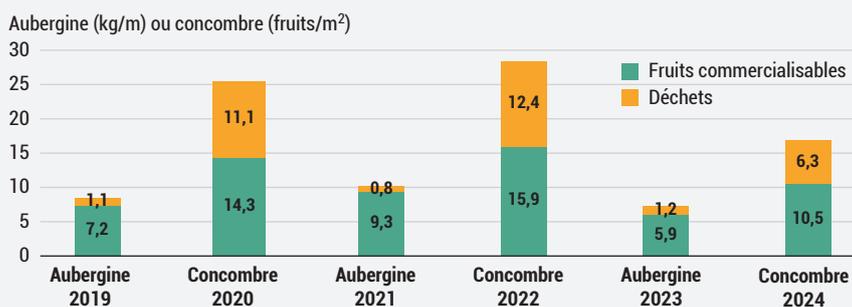
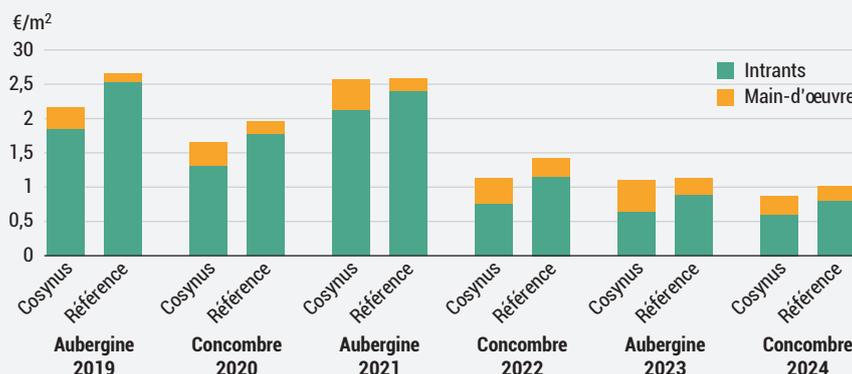


Figure 5 | Charges de gestion des bioagresseurs (en €/m²)



le coût des lâchers ou encore les frais de transport sont autant de facteurs pris en compte dans ces calculs.

Pour les deux auxiliaires d'intérêt, la méthode de transfert actif apparaît comme la solution la plus avantageuse sur le plan économique, avec une réduction des coûts de 32 % pour les Coccinellidae et de 67 % pour les *Macrolophus* (Figure 6). Cette approche présente également d'autres atouts : elle permet une réponse plus rapide et une meilleure réactivité par rapport aux lâchers d'auxiliaires exogènes, notamment en réduisant les délais de commande et de livraison. Cependant, elle comporte aussi certaines contraintes, comme le temps et la préparation nécessaires. Il est indispensable d'anticiper et de mettre en place les infrastructures agroécologiques avant la culture, idéalement l'année précédente, pour maximiser la présence d'auxiliaires dans ces zones. Cette technique exige non seulement une planification rigoureuse, mais aussi des connaissances spécifiques pour identifier les auxiliaires utiles et éviter d'introduire de nouveaux ravageurs dans la culture.

### Conclusion des autres sites d'expérimentations

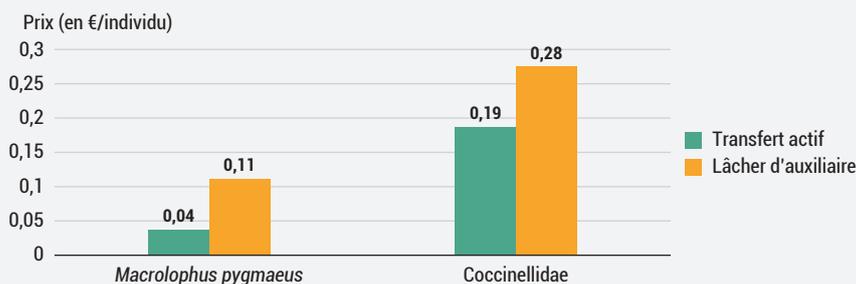
Les sites d'expérimentations de l'APREL et du GRAB ont également permis d'atteindre les objectifs de réduction d'IFT et de maintien de la production. À l'APREL, chez un producteur en agriculture conventionnelle, l'IFT total a été réduit de 42 % comparé au système de référence et de 80 % pour l'IFT hors biocontrôle. Les rendements sont maintenus, néanmoins le coût de la stratégie de gestion des bioagresseurs est plus élevé dans le système COSYNUS que dans le système de référence. En effet, les charges d'intrants et de main-d'œuvre totales sont trois fois supérieures dans le système COSYNUS de l'APREL comparé au système de référence. Le GRAB a également atteint ses objectifs puisqu'il y a eu un maintien des rendements et une hausse de la marge en agriculture biologique. En moyenne, les charges d'intrants sont divisées par deux dans le système COSYNUS comparé au système de référence tandis que les charges de main-d'œuvre sont augmentées de 25 %. Sur les 6 ans du projet, la marge totale du système COSYNUS du GRAB est 15 % plus élevée que dans le système de référence.

En conclusion, cet essai système met en lumière l'intérêt d'un aménagement

## Zoom sur les pollinisateurs du site du CTIFL

En partenariat avec l'association naturaliste Arthropologia, des notations sur les pollinisateurs sont également réalisées. L'intérieur du tunnel n'est pas suffisamment attractif pour la diversité des pollinisateurs présents sur le site. En effet, les relevés à l'intérieur des serres présentent des abondances et des diversités de pollinisateurs nettement moindres que ceux réalisés à l'extérieur du tunnel. Plusieurs raisons l'expliquent : l'effet barrière physique des serres, les conditions climatiques différentes qui pourraient ne pas convenir aux pollinisateurs, les besoins qui ne peuvent pas être assurés par une bande fleurie qu'elle soit semée ou spontanée. Les exploitations maraîchères étudiées abritent une communauté d'abeilles sauvages composée principalement d'espèces communes et généralistes. Cette étude a permis d'établir un premier inventaire des espèces présentes sur chaque site : le site de l'APREL, en maraîchage conventionnel, compte 12 espèces, celui du GRAB, en maraîchage et arboriculture biologiques, 18 et celui du CTIFL, station d'expérimentation, 32. Sur l'ensemble des sites, les traits de vie dominants sont similaires : les abeilles sauvages sont majoritairement solitaires, principalement terrioles, sans préférence alimentaire marquée, et présentent une phénologie étendue.

Figure 6 | Évaluation du prix moyen d'un auxiliaire selon la méthode d'introduction (exprimé en €/individu)



agroécologique global des exploitations pour intégrer de manière cohérente et active les plantes de service et les stratégies basées sur l'utilisation de la biodiversité fonctionnelle. Les bandes fleuries, issues de mélanges fleuries ou d'une flore spontanée, peuvent apporter un réel intérêt dans la régulation naturelle des ravageurs, à condition de réaliser un suivi et un entretien régulier. La complémentarité des infrastructures agroécologiques, comme les bandes fleuries ou les zones réservoirs, couplés à des stratégies de lutte biologique par augmentation (lâchers d'auxiliaires) apparaît essentielle pour une gestion durable. Cette approche améliore la biodiversité fonctionnelle et permet de réaliser des économies, notamment en réduisant l'achat d'auxiliaires et en augmentant leur efficacité. Cependant, ces méthodes nécessitent un investissement humain important, tant en termes de connaissances

et de savoir-faire qu'en termes de surveillance et de réactivité, afin de garantir une optimisation des services écosystémiques. Enfin, des travaux restent nécessaires pour affiner cette démarche, notamment pour mieux comprendre et maîtriser la régulation de certains ravageurs problématiques comme les acariens ou les punaises phytophages, ou encore pour faire évoluer les règles de décision. Ces perspectives de recherche sont cruciales pour poursuivre le développement de systèmes agroécologiques robustes et durables. ■

### Bibliographie

• Consultable sur la version en ligne de l'article.