



**HAL**  
open science

# Outil de conception de systèmes de cultures innovants écologiquement pour la lutte biologique par conservation en pépinière ornementale

Élodie Latorre

► **To cite this version:**

Élodie Latorre. Outil de conception de systèmes de cultures innovants écologiquement pour la lutte biologique par conservation en pépinière ornementale. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04237505

**HAL Id: dumas-04237505**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04237505>**

Submitted on 11 Oct 2023

**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

|   |  |
|---|--|
| <p>Année universitaire : 2022-2023<br/>Spécialité : Horticulture<br/>Spécialisation (et option éventuelle) :<br/>PPEH (Protections des Plantes et de<br/>l'Environnement en Horticulture)</p> | <p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p> |
|---|--|

# Outil de conception de systèmes de cultures innovants écologiquement pour la lutte biologique par conservation en pépinière ornementale

Par : Elodie Latorre

**Soutenu à Angers, le 11 septembre 2023**

**Devant le jury composé de :**

Président : M. Nicolas Chen

Maître de stage : M. Clément Morille

Enseignant référent : M. Laurent Crespel

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

M. Alain Ferre, directeur technique de l'AREXHOR

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>





## REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier mon entreprise d'accueil, pour cette période de mémoire de fin d'études, mais également pour les 3 années d'apprentissage que j'y ai passé. Ce cadre de travail chaleureux m'a permis de découvrir la production ornementale mais aussi de développer de nombreux autres attraits comme la protection des cultures. Je tiens donc aussi à remercier mon maître de stage et d'apprentissage durant ces 3 ans, Clément Morille, de m'avoir fait confiance et de m'avoir laissé la liberté d'explorer un sujet qui m'attirait particulièrement. Je remercie également Laurent Crespel, qui a été mon tuteur de mémoire et d'apprentissage et qui a toujours su être à l'écoute et trouver les bons conseils pour me permettre d'avancer dans mes projets.

Merci aussi à André Chabert et Véronique Tosser qui m'ont permis l'accès à leur travail afin que je puisse m'en servir comme base pour la réalisation de ce mémoire et qui ont su se montrer disponible pour répondre à mes questions quant à la mise en place de ce genre de travaux et d'outils.

Je remercie enfin tous les collègues, confrères, enseignants et encadrants avec qui j'ai pu échanger à propos de ce mémoire et qui m'ont fourni une aide certaine.

## LISTE DES ABREVIATIONS :

LBC : lutte biologique par conservation

## LISTE DES ANNEXES :

ANNEXE I : Script R

ANNEXE II : Données brutes piégeages des auxiliaires

ANNEXE III : Résultats bruts DEXI

## TABLE DES FIGURES :

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Design expérimental .....  | 14 |
| Figure 2: Photo des boxs contenant les plantes de service en semaine 17 (Latorre, 2023) .....  | 15 |
| Figure 3: Photos de la parcelle évaluée (Latorre, 2023) .....  | 15 |
| Figure 4 : Emplacement des pièges dans la culture .....  | 17 |
| Figure 5: Arbre de décision DEXI-PEPI .....  | 18 |
| Figure 6: Valeur des poids locaux et globaux des attributs de l'outil DEXI-PEPI .....  | 19 |
| Figure 7: Cartographie de la pépinière et des zones tampons évalués autour des pièges .....  | 22 |
| Figure 8 : Photo d'une syrphes avec une fleur de bleuet (Latorre,2023) .....   | 24 |
| Figure 9: Photos des plantes de services dans la culture de Photinias (Latorre,2023).....  | 24 |
| Figure 10: Pucerons sur soucis (Latorre, 2023) .....   | 24 |
| Figure 11: Evaluation de l'égalité des variances des résidus, la répartition est un nuage de point, l'homoscédasticité est validé .....  | 25 |
| Figure 12: Evaluation de la normalité des résidus pour les modèles Potentiel auxiliaires, les valeurs sont normalement distribués et suivent la courbe rouge, la normalité est validée ..... | 25 |
| Figure 13: Nombres d'auxiliaires piégés en fonction des lieux ou du potentiel auxiliaire.....  | 25 |
| Figure 14: Evaluation de la normalité des résidus pour les modèles Lieux, les valeurs sont normalement distribués et suivent la courbe rouge, la normalité est validée .....                 | 26 |

## TABLE DES TABLEAUX :

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1: Modalités évaluées.....  | 14 |
| Tableau 2: Caractéristiques des plantes de services sélectionnés et période de floraison.....   | 16 |
| Tableau 3: Description des parcelles étudiées.....  | 17 |
| Tableau 4: Valeur et pourcentage des différents attributs basiques pour les parcelles évaluées.....   | 23 |
| Tableau 5: Tableau 5: Semaine de floraison des plantes de services.....   | 24 |
| Tableau 6 : Tableau des p-values entre le nombre d'auxiliaires piégés selon le potentiel auxiliaire, si $p\text{-value} < 0.05$ alors les deux potentiels sont significativement différents ..... | 26 |
| Tableau 7: Tableau des p-values entre le nombre d'auxiliaires piégés selon le lieu, si $p\text{-value} < 0.05$ alors les deux lieux sont significativement différents .....                       | 26 |

## Table des matières

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | Introduction.....   | 1  |
| II.  | Etats de l'art .....  | 3  |
| A.   | Biodiversité.....   | 3  |
| 1.   | Concepts et définition .....                                      | 3  |
| 2.   | Rôle de la biodiversité pour l'agriculture .....                  | 3  |
| 3.   | Effets des agrosystèmes sur la biodiversité .....                 | 4  |
| 4.   | Effets de la perte de biodiversité au sein des agrosystèmes ..... | 5  |
| B.   | Lutte biologique par conservation .....                           | 6  |
| 1.   | Principe de la lutte biologique par conservation .....            | 6  |
| 2.   | Aménagements de la lutte biologique par conservation .....        | 7  |
| 3.   | Les limites de la lutte biologique par conservation.....          | 8  |
| C.   | Conception de systèmes.....                                       | 9  |
| 1.   | Enjeux de l'évaluation de la biodiversité.....                    | 9  |
| 2.   | Les mesures et indicateurs de la biodiversité .....               | 10 |
| 3.   | Les outils d'évaluations de la biodiversité.....                  | 11 |
| 4.   | Outils de conception de la LBC.....                               | 11 |
| 5.   | Mise en place de l'étude au sein d'une pépinière ornementale..... | 12 |
| III. | Matériels et méthodes .....                                       | 14 |
| A.   | Evaluation de la biodiversité et outil diagnostic .....           | 14 |
| 1.   | Recherches bibliographiques .....                                 | 14 |
| 2.   | Conception de l'outil .....                                       | 14 |
| B.   | Effets d'aménagements agroécologiques .....                       | 15 |
| 1.   | Design .....  | 15 |
| 2.   | Choix des plantes de services .....                               | 16 |
| 3.   | 3. Collecte et analyse de données.....                            | 16 |
| C.   | Confirmation de l'outil DEXI-PEPI.....                            | 16 |
| 1.   | Evaluation.....   | 16 |
| 2.   | Dispositif.....   | 16 |
| 3.   | Analyse de données.....   | 17 |
| IV.  | Résultats .....   | 17 |
| A.   | Création de l'outil de diagnostic.....                            | 17 |
| 1.   | Conception de l'arbre.....  | 17 |
| 2.   | Recherches bibliographiques .....                                 | 18 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.   | Évaluation de différentes parcelles de l'exploitation.....               | 23 |
| B.   | Expérimentation.....   | 24 |
| 1.   | Évaluation d'aménagements agro-écologiques .....                         | 24 |
| 2.   | Effet de la parcelle sur la présence des auxiliaires.....                | 25 |
| V.   | Discussion.....  | 26 |
| A.   | L'absence de résultats exploitables de la première expérimentation ..... | 26 |
| 1.   | Conception de l'expérimentation.....                                     | 26 |
| 2.   | Conditions climatiques limitantes pour l'infestation par le puceron..... | 27 |
| 3.   | Effet des plantes de services installées .....                           | 27 |
| B.   | La fiabilité de l'outil .....  | 28 |
| 1.   | Comparaison au potentiel réel.....                                       | 28 |
| 2.   | Amélioration de l'outil.....   | 29 |
| 3.   | Nouveau dispositif à mettre en place .....                               | 29 |
| 4.   | Potentiel d'utilisation de l'outil .....                                 | 30 |
| VI.  | Conclusion .....   | 31 |
| VII. | Bibliographie.....   |    |

ANNEXES





## I. Introduction

Les cultures ornementales ont par définition un rôle premier esthétique. Cette particularité, la différenciant des autres types d'agriculture vivrière, impose de fortes contraintes sur la production et sa qualité. La production des fleurs coupées ou des plants de pépinière ont alors une tolérance 0 vis-à-vis des divers bioagresseurs. Afin de garantir une plante saine et sans dégâts, l'usage de produits phytosanitaires est usuel dans les entreprises horticoles. On constate de ce fait en cultures ornementales, dans les 13 systèmes testés en réseau DEPHY, que l'IFT chimique de référence est d'environ 33 pour les plantes fleuries, d'environ 5,5 en pépinière et de presque 14 pour les plantes en pots (Schott, 2021). Cependant, l'usage des produits phytosanitaires est depuis longtemps remis en cause, des risques sur l'environnement avec la pollution de l'air et de l'eau ou sur la santé des agriculteurs et des consommateurs ont été démontrés pour certaines substances et sont craints sur d'autres (Anses, 2014). La politique agricole européenne et française va dans ce sens avec notamment la mise en place du plan Ecophyto et Ecophyto II+ (Launais et al., 2014). Des restrictions d'usage de produits sont fréquemment décidées, retirant alors des solutions de contrôle et laissant parfois des problèmes de bioagresseurs sans solutions alternatives. La production ornementale n'ayant pas un rôle d'alimentation, il est envisageable que l'arrêt d'utilisation des produits phytosanitaires commence par la filière horticoles. De part les inquiétudes écologiques et de santé publique liées à l'usage des produits phytosanitaires et à leur retrait progressif du marché, il est donc nécessaire de réfléchir dès à présent à des solutions alternatives pour la gestion des bioagresseurs en horticulture ornementale.

La mise en place d'une protection basée sur des processus écologiques a été identifiée comme une réponse potentielle à ces enjeux. L'intégration des stratégies de contrôle biologique dans une pépinière produisant des plantes ornementales réduirait potentiellement l'utilisation globale des pesticides et les effets néfastes de leur usage sur l'environnement (Charles-Tollerup, 2012). Cependant les méthodes de lutte biologique utilisant des produits de biocontrôle ou introduisant des organismes auxiliaires ont des coûts élevés pouvant être un frein à leur mise en pratique. De plus, leur efficacité est limitée dans le temps et il est nécessaire de mettre en place un suivi rigoureux et régulier avec des actions répétitives afin d'obtenir une bonne efficacité, ce qui est alors très consommateur en temps. La lutte biologique par conservation peut apporter une solution à ces contraintes. Ce concept se base sur la favorisation de la régulation naturelle des bioagresseurs par des la mise en place d'aménagements. Son objectif est de permettre le contrôle des ravageurs de manière passive grâce à l'équilibre de l'écosystème dans lequel se trouve la production.

Cependant ce mode de production ne fait pas encore l'unanimité au sein des exploitations agricoles. Des paramètres politiques et sociaux peuvent être une première explication, la dominance des lobbys phytopharmaceutiques ou les actions encore trop limitées du gouvernement pour inciter ou imposer ce mode de production en sont des exemples (Parrella and Lewis, 2017). Mais la crainte des producteurs est aussi élevée, certains rétorquent que le manque d'étude prouvant la viabilité économique de la lutte biologique par conservation (Cullen et al. 2008; Jonsson et al. 2008) et que son efficacité est difficile à démontrer (Gurr et al., 2000). Aussi, en utilisant une approche systémique et l'intensification écologique, ce mode de protection des cultures est en rupture avec les systèmes basés sur les intrants dans lesquels peuvent être inclus les systèmes horticoles. La lutte biologique par conservation nécessite donc une reconception des systèmes de production pour sa mise en place (Ratnadass et al., 2012). Cette reconception suppose de rassembler de nombreuses connaissances dans des disciplines variées comme en biologie, génétique, entomologie, pathologie, nématologie,



agronomie, économie, sociologie (Lavigne et al., 2014). Cette méthode de lutte peut aussi donner l'effet d'un retour en arrière dans les pratiques culturales, il est donc nécessaire qu'elle puisse s'adapter à l'agriculture moderne afin d'être adoptée (Cortez-Madrigal and Gutiérrez-Cárdenas, 2023). De plus, il est nécessaire de redéfinir l'objectif de cette protection des cultures, qui n'est pas l'éradication mais la stabilisation des populations de ravageurs en dessous d'un seuil économique acceptable. La réduction de produits phytopharmaceutiques fait donc également face à une barrière sociale, car elle implique un changement de vision et d'attitude face à la présence de bioagresseurs dans une culture (Le Roux et al., 2012). Et cela va de paire avec un changement au sein des consommateurs, notamment sur la qualité visuelle des produits car les pertes économiques sont encore importantes lorsque des dommages sont occasionnés par les bioagresseurs (Launais et al., 2014).

Ce travail portera sur l'implémentation au sein d'une pépinière de production de jeunes plants ornementaux de la lutte biologique par conservation. Les pépinières du Bocage est une entreprise créée en 1974, elle est composée aujourd'hui de 35 salariés, produit près de 2500 variétés de plantes allant de l'arbuste à la vivace, et produit plus de 2 millions de plants par an sur 7 hectares au total dont 3 couverts. Son activité est donc très diversifiée avec des pieds-mères en pleine terre, une activité de multiplication en serre, une période de repotage puis d'élevage des plants en godets. Depuis 2015, l'entreprise s'engage dans plusieurs démarches environnementales, tout d'abord par l'acquisition du label plante bleue de niveau 2 puis l'adhésion en 2017 au groupe Dephy ferme pépinière du Pays de la Loire, avec pour objectif principal la réduction de son IFT. Le groupe Dephy, qui a commencé un deuxième cycle en 2022, travaille actuellement sur la biodiversité au sein des agrosystèmes et ses bénéfices pour les productions en pépinières. L'entreprise souhaite s'investir de façon encore plus importante en imaginant une production "zéro phyto chimique", autant pour préserver son environnement et son équipe, que pour mieux maîtriser ces coûts de production et pour anticiper les prochaines interdictions de produits phytosanitaires.

Un problème simple est alors apparu : est-il possible de gérer les ravageurs de plantes ornementales grâce à la lutte par conservation au sein d'une pépinière. Pour répondre à cette question, il est nécessaire de savoir ce qu'implique la mise en place d'une telle méthode de protection des cultures et comment concevoir les systèmes de production horticoles autour de celle-ci. Ensuite il sera nécessaire d'évaluer ces systèmes et de vérifier leur compatibilité et leur efficacité pour des productions horticoles.



## II. Etats de l'art

### A. Biodiversité

#### 1. Concepts et définition

La biodiversité est le terme issu de la contraction de diversité et de biologique, que l'on pourrait alors traduire comme la diversité du vivant. Utilisé pour la première fois par Lovejoy en 1980, le concept scientifique traditionnel de la diversité biologique est basé sur la diversité des espèces (nombre d'espèces ou d'autres unités taxonomiques) et sur la distribution des abondances entre les espèces (Duelli, 1997). Ces critères se sont retrouvés à la base de divers indices mathématiques (Shannon, Simpson...) permettant de mesurer la diversité de certains groupes taxonomiques, servant alors à décrire le vivant en faisant allusion aux variations de certains attributs entre les organismes (Swingland, 2013). En plus de cet usage quantitatif, le terme a été utilisé pour qualifier l'état des écosystèmes et répondre à d'autres enjeux que ceux naturalistes pour, par exemple, alerter sur les évolutions environnementales (disparition des espèces, réchauffement climatique...) (Marcon, 2018). C'est alors que cette première définition simpliste et réductrice a conduit à une représentation floue de la biodiversité. En fonction du contexte (scientifique, politique, environnementale...), sa définition s'est retrouvée adaptée ou modifiée, en y intégrant ou retirant les éléments d'intérêts ou en surplus.

Seulement 10 ans après la création du terme "biodiversité", (DeLong, 1996) a dénombré 85 définitions différentes. Il propose alors en 1996 une définition prenant en compte les modifications selon le contexte : "La biodiversité est un état ou un attribut d'un site ou d'une zone géographique et qui réfère spécifiquement à la variabilité parmi et entre les organismes vivants, les population d'organismes vivants, les communautés biotiques, et les processus biotiques, qu'il soit d'origine naturelle ou modifié par les activités humaines. La biodiversité peut être mesuré en termes de diversité génétique, de l'identité et du nombre des différents types d'espèces, communautés, ou processus, et le nombre (abondance, biomasse, recouvrement, taux) et la structure de chaque. Elle peut être observée et mesurée à toutes les échelles spatiales du microsite à la biosphère entière." (DeLong, 1996). Cette définition retrouve de façon implicite celle proposée 4 ans plus tôt lors de la convention sur la biodiversité pendant la conférence de l'environnement et du développement des NU à Rio en 1992. Ainsi le terme biodiversité comprend toute l'échelle de la diversité génétique entre les espèces, entre les taxons, jusqu'à la diversité des écosystèmes et des interactions écologiques. De ce fait, la biodiversité ne s'arrête pas au nombre d'espèces présentes dans un milieu donné mais s'exprime sur 3 niveaux : diversité des espèces ; diversité génétique dans les espèces et diversité des milieux (Graf et al., 2016)).

Au vu de la définition ci-dessus, il est incorrect de parler du rôle de la biodiversité, on pourrait en revanche parler de l'effet d'un niveau de biodiversité. Par souci de simplification, dans la suite de cet ouvrage le terme biodiversité sera utilisé pour parler d'un ensemble d'organismes vivants se situant dans un écosystème donné, où les populations sont diversifiées et en équilibre.

#### 2. Rôle de la biodiversité pour l'agriculture

La biodiversité et l'agriculture sont des termes qui, pendant longtemps, ont été séparés (Valette et al., 2012). Cependant, leur présence conjointe est actuellement très fréquente voir permanente. On retrouve notamment dans les politiques publiques l'association de ces deux composantes, les certifications environnementales en sont un bon exemple (AB, HVE,...). On parle alors des agrosystèmes qui sont des écosystèmes modifiés et contrôlés par l'Homme dans le but d'exercer des activités agricoles. L'association biodiversité et agrosystème n'est



donc pas surprenante, car bien que simplifié, les agrosystèmes sont composés de la même manière que les écosystèmes (sol, plante, herbivores) et sont soumis aux mêmes cycles (nutrition, colonisation, prédateurs) (Bianchi et al., 2006), (Charles-Tollerup, 2012)). La biodiversité se trouve alors à la base de processus vitaux et des services écosystémiques dont l'agriculture tire parti. Les services écosystémiques sont des flux de matières, d'énergie ou d'informations issus de la nature afin de produire du bien-être humain. Ces services peuvent être d'approvisionnement (qui produisent des ressources que l'on peut commercialiser comme l'eau ou les combustibles), de régulation (qui modèrent les phénomènes naturels), culturels (qui sont les bénéfices non-matériels comme l'esthétisme) et de base (qui permettent la mise en place d'autres services)(Costanza and Limburg, 1997). Ce sont les services de base qui permettent l'agriculture en réalisant les fonctions primaires. En effet, de nombreuses fonctions sont assurées par le vivant : formation des sols, minéralisation, production de biomasse et de carbone, pollinisation... et leur réalisation est dépendante des organismes vivants se trouvant dans chaque milieu (Mace et al., 2012). Le bénéfice économique de quatre services rendus par les populations d'insectes a été évalué en 2006 aux Etats-Unis et il s'avère que s'ils ne remplissaient pas correctement leur fonction, notamment celle de l'enfouissement des excréments, de la lutte contre les ravageurs, de la pollinisation et de ressources pour la faune carnivores, une perte d'au moins 57 milliards de dollars seraient observés (Losey and Vaughan, 2006). Dans l'expertise scientifique collective produite en 2008 par l'INRAE, les différents rôles que la biodiversité joue pour l'agriculture ont bien été définis. Il en identifie trois catégories : les services intrants, qui ont pour rôle la fourniture de ressources, le maintien des supports physico-chimiques de la production agricole et la régulation des interactions biotiques (ayant des effets directs sur la fertilité des sols, la pollinisation par exemple). Il y a ensuite les services de production ayant un impact direct sur le bénéfice agricole influençant notamment sur le rendement ou la qualité de la production. Et enfin les services produits hors revenu agricole direct, mais qui rentrent dans la composition de la productivité comme la qualité des eaux ou la séquestration du carbone (Le Roux et al., 2012).

### **3. Effets des agrosystèmes sur la biodiversité**

Les agrosystèmes couvrent un peu plus de la moitié du territoire français, l'agriculture a donc un rôle indiscutable dans la gestion de la biodiversité (Hampartzoumian & al 2013). L'agriculture est tout d'abord un acteur du paysage, les paysages agricoles regroupent des zones urbanisées et de zones cultivées et peuvent être entrecoupés de zones semi-naturelles (Haenke & al, 2014). L'évolution de ces zones semi-naturelles est un bon exemple de l'impact de l'agriculture sur le paysage et la biodiversité. La révolution verte et la volonté d'augmentation de la productivité agricole ont causé la destruction de ces zones, avec notamment le remembrement qui a permis la mécanisation grâce à l'augmentation des surfaces parcellaires et la destruction des obstacles, le plus souvent naturels comme les haies, les bois et bosquets. À la suite de ces actions d'intensification et d'homogénéisation des agrosystèmes, le paysage s'est retrouvé simplifié, le nombre de milieux a diminué causant l'appauvrissement de la biodiversité (Viguié, 2017). La complexité du paysage est une notion traduisant la qualité du paysage, en reprenant des indicateurs de couvertures, d'hétérogénéité, de composition et d'arrangement spatial (Burel et al., 2008). Plusieurs études rapportent que la complexité du paysage est bénéfique à la biodiversité, un paysage complexe accueille des éléments qui même faiblement représentés jouent un rôle important de refuge et d'habitat à certaines espèces sous représentées elles aussi. À contrario, l'homogénéisation du paysage induit donc une banalisation des communautés, en diminuant les habitats et la présence des espèces rares et augmentant les espèces communes (Chaplin-Kramer et al., 2011).

De plus, de par ses pratiques, l'agriculture a un rôle direct sur les populations d'organismes vivants. Toujours pour répondre aux enjeux de la révolution verte, les systèmes agricoles sont





devenus intensifs et donc très contrôlés, ce qui a participé au déclin rapide de la diversité spécifique des parcelles cultivées (Benton et al., 2003; Bianchi et al., 2006). Pour se libérer des facteurs limitants et permettre des rendements élevés à un moindre coût de production, les systèmes se sont fortement reposés sur les intrants (Aubertot et al., 2011). Comme leur nom l'indique, les intrants sont des composantes extérieures aux systèmes qui sont introduits pour répondre à des besoins spécifiques. L'ajout d'un élément dans un écosystème se traduit alors par une perturbation. Ces perturbations sont des événements physiques provoquant le dérèglement des communautés et donc de l'écosystème, en pouvant modifier notamment la composition des populations (Pickett & White; 1985). Les pratiques agricoles et itinéraires culturaux mis en place induisent des perturbations fréquentes et parfois sévères, comme le labour, la fertilisation, la récolte. Une des perturbations aux plus grands effets est l'application de pesticides comme stratégie de contrôle des ravageurs. En plus de supprimer des individus, les organismes qui peuvent physiquement ou physiologiquement échapper à ces perturbations sont sélectionnés. Il s'agit généralement d'organismes ayant un fort taux de reproduction, une bonne capacité de colonisation et d'exploration et une utilisation des ressources efficaces, et ce sont des caractéristiques que l'on retrouve souvent chez les ravageurs.

#### **4. Effets de la perte de biodiversité au sein des agrosystèmes**

On observe alors un déclin de la biodiversité au sein des agrosystèmes. Les perturbations entraînent la diminution de la diversité des espèces dans ces milieux et l'équilibre des agroécosystèmes est rompu, ce qui se traduit notamment par des populations surreprésentées (Roschewitz et al., 2005). Comme cité précédemment, les caractéristiques des organismes pouvant s'adapter à des milieux aussi instables sont retrouvés majoritairement chez les ravageurs des cultures herbivores. Les herbivores sont donc favorisés et le déséquilibre constant empêche l'installation d'une régulation continue entre la plante, son bioagresseur et leurs ennemis naturels (Price et al., 1980). Les ennemis naturels des ravageurs de cultures peuvent être des prédateurs, qui se nourrissent des herbivores, ou des parasites, liés à l'herbivore pendant au moins une phase de leur cycle (Sitographie 1).

Différentes théories expliquent la difficulté de l'installation d'un équilibre dans les différents réseaux trophiques au sein des agrosystèmes. Avant la considération de la biodiversité au sein des agrosystèmes, la théorie de l'équilibre proposée par (Elton, 1927) (1927), suggère que la structure des communautés dans les écosystèmes est le résultat des interactions entre les organismes vivants appartenant à différentes espèces, il peut s'agir de la compétition ou de la prédation. Ainsi plus les niveaux trophiques sont complexes (diversité des ressources, des prédateurs...) mieux ils résisteront aux changements grâce aux interactions interspécifiques plus nombreuses. De cette théorie en découle de nombreuses autres, comme l'hypothèse de la diversité-stabilité qui exprime qu'une meilleure diversité de la communauté biologique implique la meilleure stabilité de l'écosystème (MacArthur, 1955; Pimentel, 1995). La théorie des interactions de Southwood et Comins défend également que la présence des ravageurs herbivores est plus importante quand la stabilité de l'environnement est faible. Tout d'abord, ceux-ci peuvent plus facilement échapper aux ennemis naturels dans l'espace et dans le temps, directement liés aux perturbations physiques du système (Price et al., 1980). La faible stabilité de l'environnement est aussi liée à la faible complexité du paysage. L'hypothèse de la concentration des ressources statuts que la diversité végétale a une influence sur les niveaux trophiques supérieurs (= niveau dans la chaîne alimentaire)(Chapin et al., 2000), ainsi dans les habitats simples les herbivores sont moins diversifiés et les populations pouvant se développer dans ce milieu sont favorisées avec des effectifs plus importants. À l'inverse dans les habitats complexes, plus d'herbivores différents sont retrouvés, ce qui implique qu'il y a plus de proies différentes pour les ennemis naturels. Une méta-analyse réalisée à partir de 46 études a constaté cette relation positive entre la complexité du paysage et les ennemis naturels



(Chaplin-Kramer et al., 2011). Cet effet s'explique donc par la facilité pour les auxiliaires de trouver des ressources alimentaires correspondant à leurs besoins tout au long de l'année et des habitats adéquats dans ces paysages diversifiés (Huffaker, 1958). Ce phénomène est d'autant plus observable que certains de ces prédateurs ou parasites ont des régimes alimentaires variables. On retrouve notamment les insectes holométaboles qui consomment des aliments différents selon leur stade de développement, dont font partie de grands ordres d'insectes comme les Coléoptères, les Hyménoptères, les Diptères ou les Névroptères (Van Emden and Williams, 1974).

La perte de biodiversité au sein des agrosystèmes a donc un effet direct sur la santé des espèces cultivées. Favorisant les bioagresseurs et désavantageant leur ennemis naturels, les systèmes de production actuels sont déséquilibrés du fait des nombreuses perturbations y prenant place et de la simplification des relations trophiques par l'appauvrissement de la diversité végétale. Depuis plus de 30 ans, il est donc convenu qu'améliorer la stabilité et la diversité du paysage agricole contribuerait à une meilleure régulation des ravageurs herbivores grâce aux populations d'ennemis naturels. Ce principe pourrait se définir comme la lutte biologique par conservation, avec pour objectif que l'occurrence d'un maximum de ressources coïncide dans le temps et l'espace pour répondre aux besoins de ces populations de prédateurs ou de parasites.

## **B. Lutte biologique par conservation**

### **1. Principe de la lutte biologique par conservation**

La lutte biologique par conservation a été définie et étudiée à partir des années 90. En 1998, Ehler la définit comme la mise en place d'actions qui protègent et préservent les ennemis naturels des bioagresseurs. Elle se différencie d'autres méthodes de lutte contre les ravageurs notamment du fait de sa durabilité.

En 2000 d'après (Gurr et al., 2000), l'enjeu était tout d'abord de réduire la mortalité des ennemis naturels ; notamment induite par les produits phytosanitaires à large spectre (Ndakidemi et al., 2016). Avec l'apparition des nouveaux labels environnementaux et les objectifs Ecophyto du gouvernement, des actions ont déjà été menées dans ce sens. L'efficacité et l'efficacité des traitements phytosanitaires ont été améliorées (Foucault, 2019) et de nombreux insecticides à larges spectres ont aussi été interdits comme les néonicotinoïdes, réduisant alors l'impact sur les populations d'insectes non ravageurs. Les actions menant à la mise en place de la LBC ont donc évolué et l'INRAE propose une définition plus actualisée et complète dans son livre Biocontrôle publié en 2020 : « la lutte biologique par conservation consiste à aménager l'environnement, via des pratiques agricoles ou la mise en place d'infrastructures agroécologiques, à différentes échelles spatiales dans l'objectif d'optimiser les services écosystémiques liées à la régulation naturelle des bioagresseurs ». Les méthodes pouvant s'intégrer à cette définition ont donc pour objectif un contrôle des ravageurs en arrière-plan, et deux approches permettent la mise en place cette régulation, on parle des méthodes bottom-up et top-down (Ratnadass et al., 2012). L'approche bottom-up agit plus directement sur le ravageur en limitant son accès aux ressources notamment via la modification des pratiques culturales. L'approche top-down, elle, se base sur la régulation des bioagresseurs par l'ensemble du cortège d'ennemis naturels, qui sont alors qualifiés d'auxiliaires de cultures, c'est-à-dire « des organismes vivants utilisés pour contrôler ou éliminer des ennemis d'organismes à protéger, souvent des plantes d'intérêt agronomique ». L'approche top-down est généralement mise en œuvre en fournissant les différentes composantes nécessaires à l'établissement des auxiliaires (Barbosa and Benrey, 1998). L'objectif est de fournir des ressources alimentaires, des sites de reproduction et



d'hivernage de par la gestion des habitats, ce qui a pour effet d'améliorer l'efficacité des ennemis naturels (Gurr et al., 2000).

## **2. Aménagements de la lutte biologique par conservation**

Une des méthodes de conception les plus simples suppose que plus la variété de l'habitat est grande, plus il y a de chances que les besoins des parasitoïdes soient satisfaits (Barbosa and Benrey, 1998). Les zones non cultivées sont alors considérées comme des réservoirs de biodiversité et l'aménagement des parcelles et de leurs abords peut permettre de favoriser certains organismes en créant des ressources ou des habitats favorables à leur développement (Bianchi et al., 2006). Cette même étude démontre 75% en plus de populations d'ennemis naturels et 45% de pressions en ravageurs en moins dans les paysages complexes contre les habitats simples, surtout quand il y a des habitats herbacés (Bianchi et al., 2006).

Les aménagements agroécologiques ont pour rôle de remplir les fonctions écologiques habituellement offertes par l'environnement. Un des premiers rôles des zones semi-naturelles est de fournir des abris aux auxiliaires. Celui-ci peut servir d'habitat pour passer l'hiver, mais également pour échapper aux perturbations de la parcelle cultivée. Les aménagements ont ensuite un rôle de fourniture de ressources, que ce soit à un certain moment du cycle de l'auxiliaire ou durant toute sa vie. Les auxiliaires étant en majorité holométaboles, ils vont avoir une phase carnivore pendant leur croissance larvaire, puis avoir une phase adulte où le pollen et le nectar seront indispensables à leur développement, de plus la présence de ressources florales a aussi des effets sur la longévité et la fécondité des ennemis naturels (Price & al., 1980). Ainsi, il est nécessaire que les infrastructures agro-écologiques fournissent à la fois des abris, des proies mais aussi des ressources florales.

De nombreux types d'aménagements peuvent être considérés comme des infrastructures agroécologiques avec pour objectif la lutte biologique par conservation. Sur plusieurs échelles, territoires, paysages, parcelles, et avec une longévité différente, les aménagements peuvent remplir tous les rôles à la fois ou n'en servir qu'un seul. On retrouve par exemple les habitats semi-naturels, ceux-ci ont pour objectif de recréer un habitat non modifié par l'Homme et de regrouper toutes les conditions physiques et biologiques pour l'établissement de diverses populations animales ou végétales. On peut retrouver dans cette catégorie les bois, les haies, les prairies ou jachères permanentes, qui sont des aménagements avec une longue durée de vie. Les prairies permanentes par exemple, peu importe leur taille ou du niveau de qualité botanique, abritent et attirent des auxiliaires comme les syrphes prédatrices de pucerons (Bessat et al., 2019). On peut ensuite identifier des aménagements qui se sont développés en grande partie pour la lutte biologique par conservation, en voulant notamment compenser les lacunes des agrosystèmes. Mis en place à l'échelle d'une parcelle et ayant une durée de vie allant de 1 à 5 ans, on retrouve par exemple les bandes fleuries ou les bandes enherbées. Avec un objectif plus orienté vers la fourniture de ressources, ces aménagements ont de forts effets sur les populations d'auxiliaires. Les plantes de services répondent à un besoin spécifique, installées autour ou dans la parcelle, elles sont présentes sur une courte durée, parfois seulement pendant la culture. (Parolin et al., 2012) identifie et définit notamment les plantes insectifères et les plantes banques. Les plantes insectifères ont pour rôle l'attraction des auxiliaires, notamment par les ressources florales qu'elles proposent comme le pollen ou le nectar. En revanche, elles ne permettent pas à l'auxiliaire de réaliser tout son cycle de vie quand celui a une phase de prédateurs dans son cycle, car elle n'héberge pas de proie. Cela les différencie donc des plantes banques qui ont pour objectif le maintien des populations d'auxiliaires à long terme en fournissant notamment des ressources alternatives en abritant des ravageurs qui leurs sont spécifiques.



Une pluralité d'aménagements peut donc servir à promouvoir la lutte biologique par conservation, cependant bien que démontré dans la littérature, leurs effets peuvent aussi s'avérer nuls voir même négatifs.

### **3. Les limites de la lutte biologique par conservation**

Peu importe les diverses stratégies de contrôle disponibles contre les ravageurs, chimiques, mécaniques ou biologiques, elles ont toutes pour objectif de réduire les populations de ravageurs sous un seuil économique. Cependant dans le cas de la lutte biologique par conservation, l'augmentation de la diversité végétale et le déploiement de méthodes agro-écologiques ont démontré dans certaines études des effets mitigés. Par exemple, dans une étude de 2012 (Caballero-López et al., 2012), le contexte paysager et les aménagements agro-écologiques n'ont pas expliqué la différence entre les densités de populations d'insectes dans les différents champs. Dans la méta-analyse réalisée par un grand comité d'experts en 2018, les habitats non cultivés dans les paysages agricoles, bien qu'ayant un effet sur plusieurs dimensions du biocontrôle, ont des effets très variables sur les ravageurs et les ennemis naturels (Karp et al., 2018).

Plusieurs explications sont à l'origine de ces résultats variables et de la non validation de cette hypothèse. Tout d'abord les aménagements peuvent fournir aussi plus de ressources pour les auxiliaires mais également pour les populations de ravageurs (Winkler et al., 2010). La polyphagie des bioagresseurs et leur caractère plus adaptatif (meilleur taux de colonisation, de reproduction...) comparé aux auxiliaires spécialisés leur donne un avantage (Ratnadass et al., 2012). Certaines études démontrent notamment que la densité de populations de pucerons était plus élevée dans les milieux complexes, notamment grâce à la présence d'hôtes secondaires ou de ressources alternatives (Roschewitz et al., 2005; Winkler et al., 2010). L'augmentation des ressources végétales est donc aussi un avantage pour les populations de bioagresseurs herbivores (Price et al., 1980). Ainsi, l'efficacité de la diversification des espèces pour conserver les ennemis naturels dépend donc de si elle favorise aussi et de manière disproportionnée les espèces nuisibles.

La spécificité des ennemis naturels est aussi une des contraintes importantes pour la conception de systèmes se basant sur la lutte biologique par conservation. Les populations d'ennemis naturels n'ont pas toutes la même sensibilité face au paysage et notamment selon l'échelle de complexité. Par exemple pour les parasitoïdes, seul le premier kilomètre autour d'une parcelle a une influence sur leur présence (Roschewitz et al., 2005). Le constat est le même pour Chaplin-Kramer et al., (2011), les ennemis naturels spécialistes répondent plus à une complexité à petite échelle, de 1 à 2 kilomètres autour des parcelles, alors que les généraux à une échelle plus grande, 3 kilomètres et plus. Il y a donc une perception spécifique au sein du même niveau trophique de l'environnement. La pluralité d'auxiliaires peut aussi être une difficulté à la mise en place d'aménagements. En effet, les ennemis naturels font partie d'ordres différents, leur cycle de vie, leur mode de reproduction, de déplacement ou d'hivernage sont variés dans le temps et dans l'espace. Par exemple, l'abondance des syrphes, un auxiliaire de l'ordre des Diptères, a été évaluée et elles ont été plus abondantes quand les parcelles étaient connectées aux forêts par des haies ou bandes enherbées, plutôt qu'isolés (Haenke et al., 2014). En revanche, une autre étude a démontré une présence plus faible des carabes, de l'ordre des Coléoptères, dans les champs quand la proportion de haies et de prairie était plus élevée (Al Hassan et al., 2013). Cet effet peut aussi s'expliquer par la difficulté du transfert des auxiliaires de ces aménagements vers la culture (Haenke et al., 2014). En effet, bien que des études ont confirmé que les ennemis naturels utilisant des infrastructures agroécologiques en bordure de parcelle visitent aussi la culture cible et contribuent à la lutte biologique (Gontijo, 2019), la fréquence de visite et donc l'efficacité de la lutte biologique





dépend souvent de la distance entre l'élément de conservation et la parcelle de culture infestée. De ce fait, sur les grandes parcelles cultivées on peut observer un contrôle des ravageurs seulement sur la bordure des parcelles.

Ensuite le contexte spécifique de chaque exploitation agricole et même de chaque parcelle et des pratiques culturales ont une influence. La méthode de lutte biologique par conservation est très complexe écologiquement, et la seule diversification de l'environnement ne peut pas toujours suffire à créer des habitats et des ressources suffisantes pour l'implémentation durable et en quantité des ennemis naturels (Ratnadass et al., 2012). Le remplacement simple des actions de lutte classique (comme l'usage de pesticides, ou la lutte biologique par augmentations avec des lâchers d'auxiliaires) par la mise en place d'habitats non cultivés ne consiste pas en une méthode de lutte efficace (Karp et al., 2018). En effet, plusieurs études ont montré l'influence des pratiques agricoles et du contexte paysager sur la lutte biologique par conservation, par exemple les fermes en agriculture biologique ont observés une infestation plus faible en pucerons des céréales que des exploitations conventionnelles avec les mêmes types d'aménagements agro-écologiques (Roschewitz et al., 2005). Une autre étude a montré que pour des cultures sous serres gérées de manière raisonnée, la lutte biologique par conservation est améliorée avec la mise en place de plantes fleuries alors que pour des serres gérées en agriculture biologique, la différence n'était pas significative car le système était déjà diversifié (Scarlato et al., 2023). On observe donc que même pour des exploitations produisant selon le même mode, le contexte spécifique de production induit des résultats différents. De plus, il a été constaté que les résultats observés sur un paysage donné ne peuvent pas être extrapolés directement à un autre paysage. Ils dépendent fortement de facteurs géographiques ou climatiques, de l'organisation spatiale des éléments paysagers et de leurs évolutions au cours du temps (Lavigne et al., 2014). Par exemple, l'interconnectivité entre les aménagements agroécologiques peut influencer de manière significative le mouvement des ennemis naturels dans et entre les champs et donc leur rôle dans la régulation des ravageurs (Gontijo, 2019).

L'application de cette méthode de lutte contre les ravageurs est donc complexe. Elle fait appelle à de nombreuses théories écologistes, parfois confirmées et parfois contestées. Elle est aussi peu généralisable et nécessite un ensemble d'actions pour montrer son efficacité. L'analyse et la reconception des systèmes de culture est donc indispensable pour envisager de mettre en place ces principes., en particulier via l'augmentation de la biodiversité (Ratnadass et al., 2012; Schott, n.d.).

## **C. Conception de systèmes**

### **1. Enjeux de l'évaluation de la biodiversité**

La mesure de la biodiversité a d'abord servi à formaliser toutes les composantes et concepts de la biodiversité afin de les expliciter dans la réalité. Cependant, les recherches sont toujours actives dessus et font toujours preuve de controverses, comme cela a pu être le cas pour la définition de ce terme, il n'y a pas une seule proposition de mesures de la biodiversité (Marcon, 2018). Comme exprimé précédemment, les activités humaines ont réduit la biodiversité, en réaction les pouvoirs publics ont mis en place différentes actions pour favoriser sa préservation, passant alors par sa compréhension et son étude (Porcher et al., 2019). Les méthodes d'évaluation de la biodiversité sont donc nombreuses et variées et peuvent englober autre chose que la diversité du vivant comme les espèces en danger ou la surface des écosystèmes préservés... (Marcon, 2018). De ce fait, l'évaluation de la



biodiversité dans le cadre de l'agronomie a d'abord eu pour but d'alerter sur les effets négatifs des pratiques agricoles sur la biodiversité (Chantrel-Valat et al., 2021).

Cependant, le terme de biodiversité utile est apparu, il a alors été confirmé que la biodiversité peut apporter des effets directs et visibles pour l'agriculture notamment via la protection de plantes. Son étude, afin de comprendre les services qu'elle peut rendre, s'est donc mise en place. Dans le cadre de la lutte biologique par conservation pour la mise en place une protection efficace, il est nécessaire de prendre en compte les facteurs limitants vu précédemment. Ainsi, le contexte spécifique de l'exploitation, se traduisant par son environnement, son système de culture et le système plante cultivée/bioagresseurs/ennemis naturels, doit être connus et pris en compte pour l'élaboration d'une méthode de lutte par conservation (Damien, 2018; Gurr et al., 2000). Un diagnostic agronomique permet de définir les objectifs de la production mais également ses contraintes techniques ou économiques. De plus, une étude de l'environnement pourrait comprendre une étude paysagère et de la biodiversité y prenant place. Ces résultats amèneraient à la conception d'un système adapté aux différentes caractéristiques et plus performant (Launais et al., 2014).

## **2. Les mesures et indicateurs de la biodiversité**

Pour mesurer la biodiversité, avec pour objectif d'évaluer la diversité et la proportionnalité des espèces végétales ou de la faune présente dans un milieu, de nombreux outils existent. Des mesures simples et directes peuvent permettre une première estimation de celle-ci, on peut par exemple évaluer la richesse spécifique et la proportion des populations (équivalant aux nombre d'espèces et leur répartition). La diversité des espèces par exemple est la composante de la biodiversité la plus documentée car elle est la plus facilement observables (Chapin et al., 2000). Il existe également des outils mathématiques comme l'indice de Shannon ou de Simpson qui traduisent ces paramètres (Bockstaller et al., 2019). Cependant, il s'avère que la biodiversité, regroupant toute la variabilité entre les organismes vivants venant de tous les écosystèmes, est un concept trop large pour être mesuré et quantifié simplement avec ces outils. L'enjeu est donc de trouver des paramètres mesurables et compréhensibles qui sont aussi corrélés que possible à la "vraie" biodiversité (Duelli, 1997).

Des indicateurs sont donc utilisés afin de traduire les processus et concepts écologiques et différents types peuvent être utilisés. Bockstaller et al. (2019) en dénombre 3, il s'agit des indicateurs d'effet mesurés, de causes, et d'effet prédictifs. Les indicateurs d'effets mesurés étudient les populations et l'impact de différents critères sur celle-ci. Les données permettant l'évaluation de la biodiversité sont récoltées en mesurant des populations particulières regroupant par exemple des individus d'un même taxon (les papillons, mammifères, arbres...) ou des individus remplissant la même fonction écologique (Swingland, 2013). Par exemple, des outils comme MASC2, traite de groupes taxonomiques assez généraux, insectes volants, macrofaune du sol, flore et micro-organismes. Ceux-ci donnent une image assez exacte de la réalité en termes de diversité et d'abondance pour le groupe taxonomique donné si l'échantillonnage et l'identification des espèces sont maîtrisés. Leur utilisation se justifie pour évaluer l'impact des pratiques sur tel ou tel taxon, mais leur capacité à rendre compte de l'ensemble de la biodiversité fait l'objet de nombreux débats (Bockstaller et al., 2019). Les indicateurs de causes évaluent ce qui est lié et a une influence sur la biodiversité. Il peut alors s'agir du système de culture ou du paysage par exemple. Les indicateurs de cause peuvent permettre de donner une première information pour sensibiliser et ou pour donner des pistes d'explication des résultats obtenus avec les indicateurs d'effet mesurés (Bockstaller, 2019). Les effets prédictifs sont eux les plus difficiles à mesurer, comme leur nom l'indique il prévoit l'effet sur la biodiversité et sont donc assez peu utilisés.



Ces indicateurs se basent en majorité sur des observations et des mesures du vivant, reprenant des données pouvant être très simples ou plus élaborées. Les protocoles de récolte de ces données sont donc très importants, car garantissant la fiabilité des indicateurs utilisés. Des protocoles standardisés ont donc été mis en place permettant de fournir des valeurs reproductibles et comparables (Duelli, 1997). Des organisations gouvernementales, comme l'office de la biodiversité (OFB), proposent par exemple des protocoles simples pour suivre différents taxons dans les agrosystèmes. Ces méthodes d'observations peuvent être basées sur des piégeages ou des observations d'organes végétaux. L'évaluation de la biodiversité peut aussi se baser sur des paramètres paysagers. Selon le principe de la complexité du paysage, la biodiversité peut être mesurée grâce à des paramètres structurels tels que la diversité des habitats et l'hétérogénéité du paysage. Cependant, les approches combinant des observations directes de la biodiversité et de l'environnement sont plutôt récentes. De plus, les indicateurs ne sont pas des images directes de la biodiversité, leur combinaison, leur analyse et leur interprétation est donc déterminante pour pouvoir évaluer la biodiversité (Duelli, 1997).

### **3. Les outils d'évaluations de la biodiversité**

Les indicateurs de la biodiversité sont alors souvent regroupés dans des outils, permettant d'analyser et de conclure sur le niveau de la biodiversité. Ces outils s'appuient en général sur des bases de connaissance scientifiques ou techniques pour gérer les complexités de la biodiversité (Duru et al., 2015). Cependant les données et leur interprétations pouvant s'avérer absentes dans certains domaines, de nombreux modèles se basent également sur des retours d'experts et des approches plus qualitatives. Cette approche innovante, combinant bases de données et modélisation qualitative, permet alors de se libérer du besoin de données scientifiques et de pouvoir fonder une agriculture basée sur la biodiversité à partir des différentes théories la définissant également.

Les outils d'évaluation de la biodiversité dans le milieu agricole prennent différentes formes (tableur, arbres de décision...) et ont souvent un objectif supplémentaire à l'évaluation de la biodiversité. Le projet européen BIOBIO, a eu lieu en 2013 et a pour objectif l'évaluation de la biodiversité mais également l'effet des pratiques agricoles sur celle-ci (Sarhou et al., 2013). Le modèle IPSIM, ajoute à l'évaluation de la biodiversité l'effet du climat ou du sol par exemple, en plus des pratiques culturales (IPSIM, Injury Profile SIMulator de Aubertot et Robin, 2013). L'outil DEXiPM se concentre sur les ennemis naturels et les bioagresseurs en distinguant de manière explicite la flore adventice et la flore semi-naturelle (Bockstaller et al., 2019). D'autres modèles européens comme IRENA (Indicator Reporting on the Integration of Environmental Concerns into Agriculture Policy) ou SEBI (Streamlining European Biodiversity Indicators), en n'ayant pas un nombre d'indicateurs axés sur la biodiversité majoritaire et en utilisant des indicateurs de causes essentiellement, ne rendent pas compte fidèlement de la biodiversité (Sarhou et al., 2013).

### **4. Outils de conception de la LBC**

Pour concevoir la lutte biologique par conservation, il n'est pas évident d'utiliser des outils d'évaluation de la biodiversité directement. Leur pluralité pose déjà des questions pour leur choix, et leur interprétation et leur fiabilité peut aussi s'avérer difficile. Mais pouvant s'inspirer des outils d'évaluation précédemment cités en reprenant par exemple des indicateurs, des outils de conception ont été développés. Comme vu précédemment, pour utiliser la lutte biologique par conservation, il ne suffit pas de remplacer l'usage de produits phytosanitaires par l'installation de quelques aménagements agroécologiques. Il est en effet nécessaire de reconcevoir le système de production. Une des méthodes de conception, la méthode NOVO, vise à créer des systèmes performants en se concentrant uniquement dans un premier temps sur la performance écologique du système, laissant de côté l'aspect technique



et économique (Fauvergue et al., 2020). Cette approche se base notamment sur le jeu et est désormais bien développée (Duru et al., 2015). Par exemple, un modèle écologique a été utilisé auprès d'agriculteurs pour étudier les interactions écologiques dans un système multi-espèces. Les exploitants ont ainsi pu visualiser, grâce à ce modèle fictif, les processus écologiques des agrosystèmes et les variables les influençant permettant ainsi d'apprendre comment gérer leur propre système (Speelman et García-Barrios 2010). D'autres autres outils permettent également l'évaluation des systèmes conçus à partir de bases de données ou de modèle, grâce à des évaluations multicritères, par exemple l'approche MASC (Craheix et al. 2012). Ces derniers permettent d'identifier les compromis entre les services écosystémiques et, par la suite, de choisir les options de gestion des agrosystèmes les plus satisfaisantes (Koschke et al. 2013).

### 5. Mise en place de l'étude au sein d'une pépinière ornementale.

Pour résumer, la conception de système de production innovant se basant sur la lutte biologique par conservation nécessite la prise en compte de nombreuses composantes écologiques, environnementales et agronomiques. Un inventaire de la biodiversité de la pépinière servirait à rendre compte des faiblesses et forces de son environnement et à concevoir le système de culture innovant. Cependant du fait de contraintes techniques et temporelles, la mise en place d'un tel diagnostic n'a pas été possible. Comme vu précédemment, de nombreux outils ont été développés en reprenant des indicateurs de causes pour aider à l'installation de ce genre de système de production, il pourrait donc servir à la conception de notre système. En revanche, pour la production ornementale en pépinière, aucun outil n'est encore disponible et utilisable. De ce fait, pour pouvoir mettre en place au sein de la pépinière une méthode de lutte biologique par conservation efficace, il semble nécessaire de développer dans un premier temps un outil permettant d'évaluer la biodiversité dans notre environnement et de comprendre les interactions régissant notre agrosystème, pour implanter ensuite de façon optimale et efficace la lutte biologique par conservation. Dans un second temps alors, afin de comprendre la mise en place du système innovant et l'efficacité de la méthode de lutte, un trio culture/bioagresseur/aménagement va être étudié.

Le puceron est le ravageur le plus présent et identifié en pépinière et s'attaque à un très grand nombre de plantes (Legendre, 2023). Ses attaques peuvent être de grandes envergures, provoquant divers dégâts allant de la déformation du feuillage, mais pouvant aussi bloquer la croissance des jeunes pousses, ou de par le rejet de miellat causer de la fumagine, un pathogène affaiblissant les plantes et réduisant son attrait esthétique. Bien que commun, ce ravageur peut devenir problématique. Le réseau d'observations EXAMINE, suite à des observations sur 30 ans, observe un enrichissement du nombre d'espèces de pucerons présents sur le territoire français ainsi qu'une précocité de plus en plus grande lors des migrations printanières (Hullé et al., 2010). La plante témoin étudiée est le *Photinia x fraseri*. Il s'agit d'un arbuste d'ornement très commun facilement reconnaissable grâce à ses nouvelles feuilles rouges vifs (Charles-Tollerup, 2012). Les ravageurs du *P. x fraseri* sont peu nombreux, mais les jeunes plants de pépinières sont sensibles à la maladie des taches foliaires, à l'oïdium et aux pucerons. Se nourrissant essentiellement sur les jeunes pousses et les feuilles rouges, le puceron retrouvé sur *Photinia* est *Aphis spiraeicola*. De plus, le puceron ayant une pluralité d'ennemis naturels sensibles aux aménagements agroécologiques, il se prête bien à leur étude.

Parmi les principaux prédateurs et parasitoïdes des pucerons, on trouve les syrphes, les coccinelles, les chrysopes et les parasitoïdes. Ces auxiliaires ont déjà été observés dans les cultures au sein de la pépinière et leur présence a parfois permis le contrôle ou la réduction de l'infestation des pucerons. C'est donc la mise en place de la lutte biologique par conservation





favorisant ces populations d'insectes qui a été étudié au cours de ce mémoire. Bien qu'appartenant à des ordres différents, ces auxiliaires ont des cycles assez proches. Les syrphes, les chrysopes et les coccinelles subissent une métamorphose complète, en passant de l'œuf, à la larve puis la nymphe et enfin l'adulte ailé. Pour les syrphes seule le stade larvaire consomme des pucerons, en revanche pour les coccinelles et les chrysopes, selon l'espèce, l'adulte se nourrit également des pucerons. En revanche, les adultes de ces trois familles ont besoin de nectar et de pollen que ce soit pour se nourrir ou pour permettre leur développement jusqu'à la phase de reproduction. Les parasitoïdes des pucerons sont principalement des guêpes et des mouches, contrairement aux prédateurs, ils pondent leurs œufs à l'intérieur des pucerons. Les larves des parasitoïdes se développent alors à l'intérieur de leur hôte, le tuant finalement et les adultes ont besoin de ressources florales pour s'alimenter. La mise en place de la lutte biologique par conservation réduite à ce couple ravageur/auxiliaire va donc dépendre majoritairement sur la présence de plantes fleuries afin de fournir des ressources et d'attirer ces auxiliaires dans les parcelles. C'est donc avec ce type d'aménagement, les plantes de services fleuries, que l'efficacité et la faisabilité de la mise en place du système de culture vont être évaluées.

Tableau 1: Modalités évaluées

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 1PR | 1AR | 1PC | 1AC |
| 2PR | 2AR | 2PC | 2AC |
| 3PR | 3AR | 3PC | 3AC |

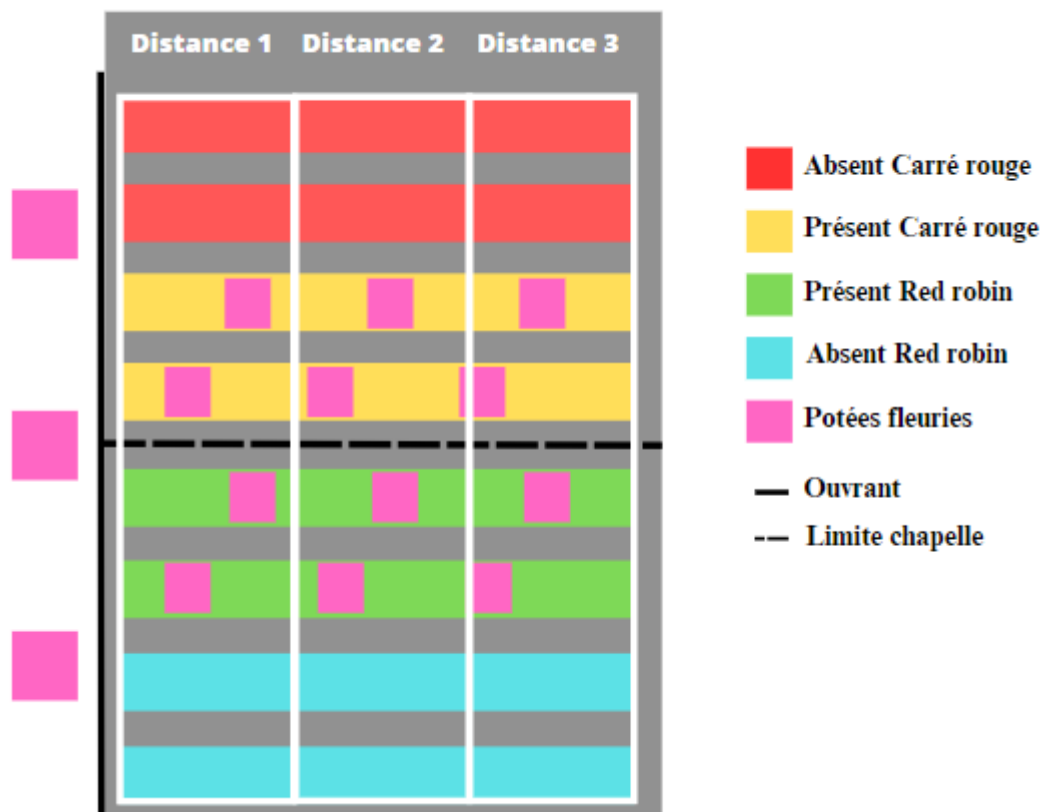


Figure 1: Design expérimental

### **III. Matériels et méthodes**

#### **A. Evaluation de la biodiversité et outil diagnostic**

##### **1. Recherches bibliographiques**

La première intention de ce projet était de mettre en place un diagnostic de la biodiversité au sein de la pépinière et de s'appuyer sur ces résultats pour concevoir un système de lutte biologique par conservation au sein de la pépinière. Cependant, le partenaire devant réaliser cet inventaire n'a pas pu le mettre en place dans une période intéressante pour la réalisation de ce travail. Ainsi, il a été nécessaire de penser à une autre façon d'évaluer le système de production et l'environnement de la pépinière afin de concevoir un système de lutte biologique par conservation. Les arbres de décision DEXI sont très utilisés dans le domaine de l'agriculture pour évaluer et concevoir les systèmes, et il est apparu dans l'état de l'art précédent que de nombreux outils qui ont été conçus pour évaluer la biodiversité ou les impacts des pratiques agricoles sont basés sur des arbres DEXI (comme Masc ou DexiPM). En effet, se divisant en branches, il permet d'intégrer la complexité des agrosystèmes et d'y faire figurer ces nombreuses composantes tout en évaluant, à partir de variables facilement mesurables, des processus complexes. Dans le cadre du projet CasDAR ARENA, mené entre 2017 et 2020, un outil DEXI ARENA a été conçu pour évaluer le "potentiel auxiliaire" de parcelles en grandes cultures. Avec des données sur le système de culture et sur l'environnement de la parcelle, l'outil permet de qualifier le potentiel de prédation des pucerons par les auxiliaires, donc de prévoir l'efficacité de la lutte biologique par conservation. En se basant sur ce modèle, notamment pour l'évaluation de l'environnement, et en modifiant les composantes du système de culture pour l'adapter à celui de la production horticole en pépinière hors-sol, cet arbre de décision permet de se questionner sur le système de production en y intégrant les composantes de la lutte biologique par conservation. L'outil qui a été reconçu a donc pris en compte l'environnement de la parcelle et le système de culture afin d'évaluer le potentiel auxiliaire contre les pucerons. Afin de modifier l'outil ARENA, une phase de recherche bibliographique sur l'influence du système de culture en pépinière sur les auxiliaires a donc été nécessaire. Cependant, ce sujet ne fait pas encore preuves de beaucoup de recherches, il a été nécessaire d'extrapoler des résultats observés dans d'autres systèmes de culture et de les appliquer à ce contexte particulier. De plus des critères appartenant à d'autres outils d'évaluation de la biodiversité ont aussi été utilisés, notamment le référentiel plante bleue et HVE et l'outil Noé.

##### **2. Conception de l'outil**

Le logiciel DEXI dans sa version 5.05 a été utilisé. En reprenant les résultats des recherches bibliographiques l'arbre de décision a pu être élaboré en rassemblant chaque critères mesurables en sous catégories. Les critères sont appelés des attributs, ceux servant d'entrée au modèle sont dits basiques. Les catégories regroupant plusieurs attributs basiques sont appelés les attributs agrégés. Ceux-ci sont fonction d'attributs basiques ou d'autres attributs agrégés, à qui des poids sont accordés selon la littérature afin de définir leur note. Une note qualitative (pouvant aller de très défavorable à très favorable) a donc été associée à chaque niveau d'un attribut, qu'il soit basique ou agrégé. À la suite de la conception, une phase de sensibilisation du modèle a eu lieu. En utilisant les données de différentes parcelles de la pépinière (Tableau 3), les poids des attributs ont pu être modifiés afin d'obtenir des résultats dans chaque niveaux de potentiel auxiliaire. Cette méthode, bien qu'empirique, permet de dépasser le stade des informations théoriques issus de la littérature en les transformant pour qu'elle soit plus proche des variations réelles du terrain.





Figure 3: Photos de la parcelle évaluée (Latorre, 2023)



Figure 2: Photo des boxes contenant les plantes de service en semaine 17 (Latorre, 2023)



## B. Effets d'aménagements agroécologiques

### 1. Design

Afin d'évaluer la faisabilité de l'utilisation de la lutte biologique par conservation avec son efficacité, cette expérimentation a été mise en place. Le pathosystème de référence, *Photinia x fraseri* et *Aphis spiraeicola*, a servi de support à l'étude. Les *Photinias* sont rempotés en godet de 9 cm par 9 cm à une densité de 122 plants par m<sup>2</sup>. Ils sont installés sous une serre de quatre chapelles, avec des ouvrants sur les face Est et Ouest, et ayant une superficie de 2000 m<sup>2</sup> au total. Les *Photinias* produit en 2023, au nombre de 60 000 occupent donc une chapelle entière, soit 500 m<sup>2</sup>. Le reste de la serre est occupé de persistants divers (*Euonymus*, *Prunus laurocerasus*...) et de quelques caducs (*Rubus* et *Actinidia*). Les chapelles sont séparées en deux dans la longueur et offrent alors des zones de culture de 30 m de long par 10 m de large où sont réparties quatre planches de culture de 2 m de large. La planche de culture a donc une extrémité située côté ouvrant et l'autre au milieu de la serre (Figure 1 et 3). Avant la mise en culture, la serre est entièrement vidée et nettoyée par jet d'eau haute pression.

Les aménagements agro-écologiques évalués sont des plantes de services fleuries, qui ont pour objectif d'attirer les auxiliaires des pucerons en leur fournissant des ressources en pollen et en nectar. Ces aménagements ont été réalisés en boxs mobiles, pouvant alors se déplacer facilement selon les contraintes de production (Figure 2). Trois boxs ont été installées aux abords des planches de cultures, à l'extérieur de la serre, à la limite de l'ouvrant. De plus, d'autres potées fleuries ont été réalisées et installées au sein de certaines planches de cultures. En effet, deux facteurs ont été évalués pour mesurer l'efficacité de ces aménagements : il s'agit de la distance de la culture par rapport aux ouvrants et donc par rapport aux boxs fleuris, et de la présence de plantes de services dans la culture. Pour le facteur distance, 3 niveaux ont été étudiés, les plantes situées entre 0 et 10 m des boxs, entre 10 et 20 m et entre 20 et 30 m, cette dernière zone étant donc la plus éloignée des aménagements extérieurs et la plus à l'intérieur de la serre. Pour le facteur présence de plantes de services dans la culture, pour la modalité "présence", il a été disposé 5 plantes fleuries tout au long de la planche de culture et ceux tous les 6 m, tandis qu'aucune n'a été installée pour la modalité absence. De plus afin d'augmenter la taille de l'essai deux variétés de *Photinia x fraseri* ont été étudiés chacun remplissant une demi-chapelle et s'établissant sur 4 planches de cultures, soit 30 000 plants et 250 m<sup>2</sup> chacunes, il s'agit des variétés 'Red Robin' et 'Carré Rouge'. On obtient alors 12 traitements différents, chacun fait 40 m<sup>2</sup> (4 m de large sur 10 m de long), il s'agit de deux planches de culture de 2 m de large avec un passe pied. La densité des plants est de 122 par m<sup>2</sup>, on compte donc près de 5000 plants par modalités. Le suivi a été réalisé sur 6 plants par modalités, soit 72 plants sur l'ensemble de l'essai. Ceux-ci ont été identifiés et les mesures ont été répétées sur les plants (Tableau 1).

Les facteurs n'ont pas été randomisés au sein de la parcelle. Tout d'abord le facteur distance est linéaire et croissant, ensuite pour le facteur génotype étant dans une entreprise de production il est difficile de mélanger les variétés de plantes (cela peut causer des difficultés dans la gestion des cultures et des commandes). Enfin pour l'effet présence des potées fleuries, les niveaux ne sont pas randomisés pour démontrer l'effet corridor des plantes de services, leur rôle étant d'assurer une continuité écologique jusqu'à l'intérieur de la parcelle, il n'est pas pertinent de les randomiser. Pour accroître alors cet effet corridor, les deux modalités de présence des potées fleuries sur les deux variétés différentes sont placées côte à côte au centre de la serre. Les modalités d'absence de potées fleuries se situent sur les planches en bordure de l'essai, elles ne sont cependant pas en bordure de serre, il reste de part et d'autre de ces modalités une chapelle contenant divers arbustes persistants et pas de plantes de services.

Tableau 2: Caractéristiques des plantes de services sélectionnés et période de floraison

| Famille      | Genre , espèce (nom français)                | Source   | Cibles                           | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept-<br>embre | Octo-<br>bre |
|--------------|--|--|----------------------------------|------|-------|-----|------|---------|------|----------------|--------------|
| Astéracées   | <i>Calendula officinalis</i> (souci)         | Minet, 2018; Colley & Luna, 2000; ACEP 2021;   | Punaises et Syrphes              |      | X     | X   | X    | X       | X    | X              | X            |
| Astéracées   | <i>Centaurea cyanus</i> (Bleuet)             | Minet, 2018; ACEP 2021   | Chrysopes et Coccinelles         |      |       |     | X    | X       | X    | X              | X            |
| Astéracées   | <i>Achillea millefolium</i> (Achillée)       | Luna, 2000; CATE 2021. ecophyto,2014, FERRE 2011                                       | Syrphes, Chrysopes, Parasitoïdes |      |       |     | X    | X       | X    | X              | X            |
| Apiacées     | <i>Aegopodium podagraria</i>                 | Faruel, 2012; Parollin & al, 2012; Wackers, 2004                                       | Parasitoïdes                     |      |       | X   | X    | X       | X    |                |              |
| Brassicacées | <i>Lobularia maritima</i> (Alysson maritime) | Scarlato & al, 2023; CATE 2021; Bemdt and wratten, 2005                                | Syrphes, Parasitoïdes            |      | X     | X   | X    | X       | X    | X              | X            |
| Lamiacées    | <i>Ocimum basilicum</i> (basilic)            | Androuin, 2021; Hogg & al 2010; Scarlato & al, 2023; Fang & al,2022; Batista & al 2017 | Chrysopes                        |      |       |     | X    | X       | X    | X              | X            |

## **2. Choix des plantes de services**

Le choix des plantes de services aurait dû se faire à l'aide du diagnostic de la biodiversité réalisé à la pépinière. Cependant celui-ci n'ayant pas eu lieu, le choix a été réalisé grâce aux observations d'auxiliaires qui a déjà pu avoir lieu dans la pépinière et à la littérature. Les critères principaux retenus pour la sélection des plantes de services ont donc été la période de floraison (celle-ci devait coïncider avec la période de culture des *Photinias* et la durée de l'essai), elle devait également avoir un effet attractif reconnu envers les principaux ennemis naturels des pucerons observés dans la pépinière (il s'agit des syrphes, des coccinelles, des chrysopes et des hyménoptères parasitoïdes, la disponibilité des semences, la facilité de production et leur coût ont aussi été des critères pris en compte. Enfin, il aurait été préférable que les plantes sélectionnées ne se ressèment pas, cependant la majorité des plantes attractives étant des annuelles sauvages, cela aurait supprimé un bon nombre de plantes intéressantes.

Le choix s'est donc porté sur 3 Astéracées, 1 Brassicacées, 1 Apiacées, 1 Lamiacées. La floraison de l'aménagement est donc étalée d'avril à octobre et permet, en théorie, l'attraction des principaux prédateurs de pucerons : syrphes, chrysopes, coccinelles et parasitoïdes (Tableau 2). Les semis des plantes fleuries ont été faits semaine 14 en alvéoles et sous serre, les premiers semis ont levés dès la semaine 15 et ont pu être repiqué en godet en semaine 17 (il s'agit du basilic, achillea, calendula, lobularia, bleuet), les autres espèces n'ont pas eu un développement assez fort pour être intégré dans les massifs. En semaine 20, les jeunes plants ont donc été plantés en box sur de la terre neutre avec un couche de terreau de 5 cm et un paillage de miscanthus et avec une densité forte (1 plant pour 10 cm<sup>2</sup> environ) selon un schéma aléatoire. Le positionnement des boxes et des potées fleuries dans la culture ont eu lieu la même semaine que celle du rempotage des *Photinias*.

## **3. Collecte et analyse de données**

La mise en culture des *Photinias* était initialement prévue la semaine 22, mais a finalement eu lieu en semaine 25. Les observations se sont déroulées de la semaine 25 à la semaine 32 et l'infestation et la présence d'auxiliaires a été évaluée de façon hebdomadaire sur les plants identifiés. Le nombre de pucerons a été compté ainsi que le nombre d'auxiliaires, ceux-ci identifiés jusqu'au rang de la famille. L'état des plantes de services a aussi été évalué avec leur floraison ainsi que la présence de pucerons et d'auxiliaires.

L'analyse statistique aurait dû être analysée sur Rstudio avec une ANOVA à mesure répétées. Cependant, très peu de pucerons ont été observés et la culture est restée bien en deçà du seuil d'infestation. Les données collectées ne sont donc pas suffisantes pour réaliser une analyse statistique.

## **C. Confirmation de l'outil DEXI-PEPI**

### **1. Evaluation**

Afin de recourir à l'absence de données de la première expérimentation, une autre expérimentation reprenant la phase finale de la précédente s'est mise en place. Avec pour objectif d'évaluer la présence des auxiliaires, elle servira notamment à confirmer ou non les résultats du modèle DEXI.

### **2. Dispositif**

Dans des parcelles au contexte environnemental et de cultures différentes et avec des notes de potentiel auxiliaires différentes ont été installés des pièges englués jaunes. Deux pièges ont été disposés dans chacune des sept parcelles (Tableau 3, figure 4), tous orientés EST-OUEST, offrant alors 4 faces pour le piégeage des insectes. Les pièges sont restés installés la semaine 31 et 32,

Tableau 3: Description des parcelles étudiées

|                      | Baltique                  | P4EXT             | P3C                   | P2A                  | SVL2A                         | TPM1                      |
|----------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Type                 | Serres multichapelles (4) | Carré extérieur   | Tunnel bâché          | Tunnel débâché       | Serre 2 chapelles             | Tunnel fixe bâché         |
| Culture              | Photinia x fraseri        | Spirea, Weigelia  | Sambucus, Physocarpus | Aronia, Sorbus burka | Photinia x fraseri, Osmanthus | Rosa, et très diversifiés |
| Type                 | Jeunes plants GT9         | Jeunes plants GT9 | Jeunes plants GT9     | Jeunes plants GT9    | Jeunes plants GT9             | Pieds-mères conteneur     |
| Présence de pucerons | Non                       | Non               | Non                   | Oui                  | Non                           | Oui                       |



Figure 4 : Emplacement des pièges dans la culture



c'est-à-dire durant la première quinzaine d'août. Ils ont ensuite été collectés et chaque face a été observée à la loupe afin d'identifier et de compter les insectes piégés. Seuls les insectes étant reconnus comme des insectes auxiliaires ont été comptabilisés. Le facteur étudié est la parcelle qui se traduit aussi par la note de l'outil DEXI, il y a 7 parcelles donc 7 niveaux pour le facteur parcelle et les notes DEXI vont de peu favorable à très favorable soit 5 niveaux.

### 3. Analyse de données

L'analyse de données est réalisée sur Rstudio avec un modèle ANOVA. Le nombre d'insectes auxiliaires collectés par face étant assez faible, seule l'analyse du nombre totale d'auxiliaires sera réalisée sur R, les résultats dans la composition de la population d'ennemis naturels sera détaillé tout de même dans les résultats. Les résultats sont comparés entre parcelles mais également entre note données par l'outil. Ensuite, les parcelles évaluées par l'outil DEXI ont obtenu une note de potentiel auxiliaire estimé qui a été comparée à la quantité d'auxiliaire réellement piégés. Ainsi le classement des parcelles a été comparé afin de déterminer si l'outil se rapproche de ce qu'il se passe réellement au sein des parcelles.

## IV. Résultats

### A. Création de l'outil de diagnostic

#### 1. Conception de l'arbre

L'objectif de l'arbre de décision DEXI est de déterminer le potentiel auxiliaire d'une parcelle de production. Ce potentiel est dépendant de diverses composantes allant de l'environnement au système de culture. Le modèle est donc constitué de 46 attributs servant à déterminer le potentiel (Figure 5). 28 sont dits basiques, il s'agit des entrées du modèle, des informations à renseigner pour que le modèle puisse tourner. Les 18 attributs restants sont fonction d'autres attributs, ils sont dits agrégés. Ils peuvent dépendre directement d'attributs basiques ou d'attributs agrégés également. Chaque attribut a alors une influence sur le potentiel auxiliaire, et les différents critères sont classés sur une échelle pouvant aller de très défavorable à favorable pour les auxiliaires.

La première partie du modèle prend en compte l'environnement de la parcelle et se décompose en deux attributs agrégés. Il s'agit de l'environnement proche et à grande échelle, d'abord dans un rayon 100 m, ce qui correspond aux bordures des parcelles et dans un rayon de 500 m, pour l'environnement à grande échelle. Pour l'environnement proche, la gestion et le type de bordures servent à évaluer la favorabilité de la bordure de la parcelle. Pour le paysage à grande échelle, 3 attributs sont évalués, il s'agit des surfaces naturelles, artificialisées et linéaires végétalisées. Pour le système de culture, il a été nécessaire de concevoir entièrement le modèle, les modèles étant adaptés à la grande culture. Le premier attribut est la culture, les entrées sont le nombre de cultures et leur fleurissement. Il s'agit ensuite de l'itinéraire de culture appliqué. La période de culture est fonction de la date de mise en culture et de la durée de la culture. Pour les intrants, on s'intéresse essentiellement à la protection insecticide et au mode de fertilisation. Les travaux de culture sont également pris en compte. En pépinière horticole, les travaux de taille et de distançage sont ceux à plus fort effet déstabilisant et sont donc étudiés pour évaluer le système de culture. Enfin, les infrastructures de la zone de production sont la dernière composante prise en compte. La taille des parcelles, leurs caractéristiques et les aménagements à l'intérieur de celles-ci sont étudiés. L'ouverture et l'orientation des serres sont des facteurs importants pour la pénétration des insectes à l'intérieur des parcelles. Ce sont donc des attributs basiques pris en compte.

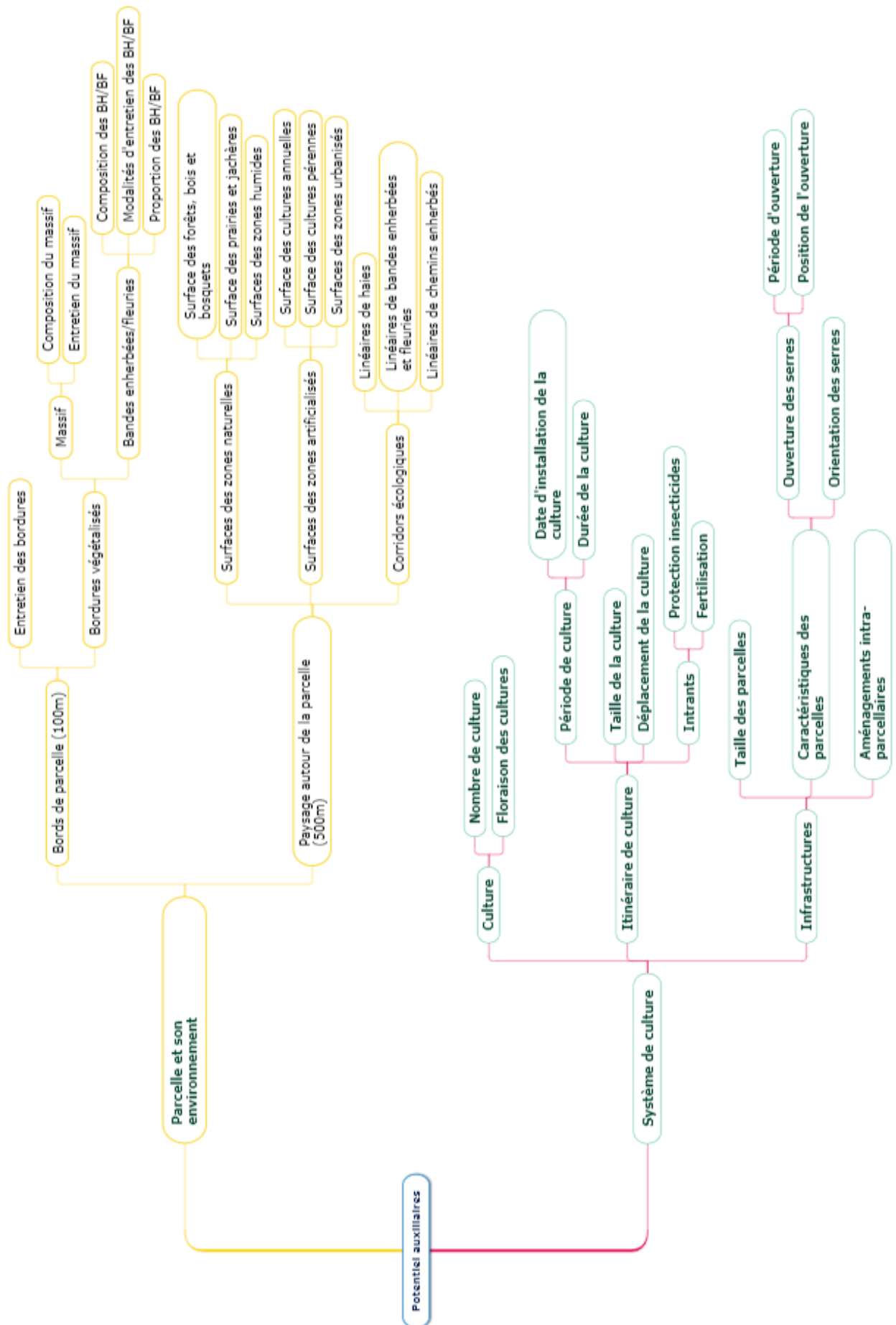


Figure 5: Arbre de décision DEXI-PEPI

Tous ces attributs servent à estimer le potentiel auxiliaire de la parcelle. Il est fonction du système de culture et de l'environnement de la parcelle en proportion égale, ces deux attributs expliquent à 50% le résultat. En revanche, pour les 28 attributs basiques, le poids dans le potentiel auxiliaire final varie de 1% à 7%. (Figure 6). Le poids le plus élevé revient à la floraison des cultures et à la présence d'aménagements intraparcellaires. Le plus faible est pour l'orientation des serres et la position de leurs ouvertures.

## 2. Recherches bibliographiques

L'étude de l'environnement de la parcelle se décompose en deux niveaux, d'abord celui proche dans un rayon de 100 m autour de la parcelle, puis celui à grande échelle dans un rayon de 500 m. Dans le modèle DEXI ARENA, le paysage est déjà considéré dans un rayon de 500 m autour de la parcelle. En effet des études démontrent l'impact du paysage sur la régulation naturelle des pucerons avec une échelle inférieure à 500 m (Redlich et al., 2018). Les ennemis naturels des pucerons ont pour la plupart de grandes capacités de dispersion ; les syrphes peuvent aller jusqu'à des centaines de km. On en compte des dizaines pour les coccinelles, et de 500 m à 2 km pour les hyménoptères (Caballero-López et al., 2012; Roschewitz et al., 2005). Prendre en compte l'environnement à cette distance est donc pertinent à la vue des capacités de dispersion de ces auxiliaires. Concernant l'environnement proche, il est connu que malgré la présence d'auxiliaires autour des parcelles, leur transfert vers celle-ci est souvent limité ou peu efficace. La mise en place d'aménagements au plus proche des parcelles peut être une solution à la bonne pénétration des auxiliaires. Une étude récente démontre notamment que, dans les systèmes de production sous serre, la présence de haies dans les 100 m autour de celle-ci explique la variation des populations d'arthropodes (Rodríguez et al., 2023).

Pour l'étude de l'environnement proche, on s'intéresse en premier lieu à l'entretien des abords via la méthode de désherbage employée. Trois niveaux sont considérés, du plus défavorable au plus favorable : le désherbage chimique, le désherbage mécanique et chimique et le désherbage exclusivement mécanique. De manière générale, le désherbage affecte les populations auxiliaires ; en supprimant les adventices, il supprime les hôtes des proies des auxiliaires (les herbivores), réduisant ainsi la ressource directe des ennemis naturels (Fauvergue et al., 2020). Le désherbage chimique étant plus radical que le mécanique, on peut considérer que son effet est plus fort et déséquilibre d'autant plus le milieu. On peut aussi voir l'effet néfaste de la rémanence des produits herbicides avec un effet à long terme sur les populations végétales et d'insectes.

Les aménagements installés autour de la parcelle sont ensuite considérés, il s'agit des aménagements pérennes des bandes fleuries et enherbées, mais aussi des massifs installés. Les bandes étaient déjà considérées dans le modèle DEXI ARENA, et les critères d'évaluation ont été conservés. Elles ont pour rôle d'être des corridors écologiques, faisant le lien entre l'environnement à grande échelle et l'intérieur de la parcelle. En effet, l'une des limites de la LBC est le transfert des auxiliaires vers les parcelles agricoles depuis les aménagements agro-écologiques. Les bandes fleuries et enherbées ont un rôle reconnu pour la connectivité du paysage, en rapportant au plus proche de la parcelle les ressources et les habitats nécessaires aux ennemis naturels. Les bandes seront donc évaluées selon leur composition, leur entretien et leur nombre autour de la parcelle. Il est important de prendre en compte l'entretien de la bande, puisqu'il a été démontré que certaines pratiques peuvent s'avérer nuisibles aux auxiliaires (Tosser and Chabert, 2020). Il est vrai que les bandes sont aussi un refuge pour conserver les auxiliaires dans l'environnement, et ce malgré les perturbations présentes dans

| Attribute  | Local | Global |
|--|-------|--------|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   |       |        |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | 46    | 46     |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | 41    | 19     |
| Entretien des bordures   | 0     | 0      |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | 100   | 19     |
| <b>Massifs</b>   | 55    | 10     |
| Composition des massifs  | 26    | 3      |
| Entretien des massifs  | 74    | 8      |
| <b>Bandes enherbées et/ou fleuries</b>                               | 45    | 9      |
| Composition des bandes enherbées                                     | 55    | 5      |
| Modalités d'entretien  | 17    | 1      |
| Importance des bandes  | 28    | 2      |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | 59    | 27     |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | 37    | 10     |
| Forêts bois et bosquets  | 37    | 4      |
| Prairies et jachères   | 32    | 3      |
| Zones humides  | 32    | 3      |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | 31    | 8      |
| Surface de cultures annuelles  | 35    | 3      |
| Surface culture pérennes   | 35    | 3      |
| Zones urbaines   | 31    | 3      |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbées dans un rayon de 500 m</b> | 32    | 9      |
| Lineaires haies  | 50    | 4      |
| Lineaires bandes enherbées   | 50    | 4      |
| <b>Système de culture</b>  | 54    | 54     |
| <b>Culture</b>   | 20    | 11     |
| Nombre de culture  | 33    | 4      |
| Floraison des cultures   | 67    | 7      |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | 52    | 28     |
| <b>Période de culture</b>  | 24    | 7      |
| Date d'installation de la culture                                    | 29    | 2      |
| Durée de la culture  | 71    | 5      |
| Pincement de la culture  | 21    | 6      |
| Déplacement de la culture  | 23    | 6      |
| <b>Intrants</b>  | 31    | 9      |
| Type de protection insecticide                                       | 71    | 6      |
| Type de fertilisation  | 29    | 2      |
| <b>Infrastructures</b>   | 29    | 15     |
| Taille des parcelles   | 19    | 3      |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | 38    | 6      |
| <b>Ouverture des serres</b>  | 81    | 5      |
| Période d'ouverture  | 82    | 4      |
| Position de l'ouverture  | 18    | 1      |
| Orientation des serres   | 19    | 1      |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | 43    | 7      |

Figure 6: Valeur des poids locaux et globaux des attributs de l'outil DEXI-PEPI

la culture. Ainsi, si de fortes perturbations, comme le broyage ou le labour de la bande sont réalisées, celles-ci réduiront fortement les effets positifs sur les auxiliaires car les ressources et l'habitat seront en partie ou totalement détruits. D'autres pratiques d'entretien sont considérées comme moins impactantes comme la fauche, notamment si cette dernière est tardive, car elle permet le maintien d'une végétation favorable pendant une période plus longue.

L'attribut massif a été ajouté dans le modèle. Il s'agit en effet d'une particularité des systèmes de productions horticoles. On remarque de nombreux aménagements aux abords des serres, en vue de végétaliser des zones auparavant engravillonnées et désherbées chimiquement. Bien qu'aucune étude spécifique n'ait été réalisée sur ce type d'aménagements, les arbustes ont des effets positifs sur les communautés d'auxiliaires. Les syrphes ont par exemple une réaction positive à la présence d'arbustes et les chrysopes adultes ont besoin des ressources lipidiques que peuvent fournir les arbustes en fin d'été pour entrer en diapause reproductive (Villeneuve-Chasset, n.d.). La composition a également été prise en compte, notamment via le nombre de strates dont le massif est composé. Le nombre de strats est directement associé au nombre d'habitats et ressources que peut fournir un milieu, proportionnellement à leur chance de répondre aux besoins des auxiliaires de culture (MacLeod, 1999). En effet, malgré l'impact positif des arbustes, les ennemis naturels des pucerons ont des besoins diversifiés, que ce soit à des stades différents de leur cycle ou pendant une même journée. Par exemple, les syrphes apprécient les arbustes pour habitat mais ont besoin du pollen et du nectar des fleurs d'apiacées pour se nourrir. Les chrysopes prospectent la nuit dans les strats herbacées tandis que la journée elles sont au repos dans les haies (Fauvergue et al., 2020). Enfin, l'entretien du massif a son importance ; afin de pouvoir être un refuge pour les diapauses hivernales, l'entretien doit respecter les mêmes contraintes que celles des haies bocagères, en limitant les perturbations lors des périodes clés pour la faune.

Pour le paysage autour de la parcelle à grandes échelles (500 m de rayon), les surfaces naturelles, le pourcentage de forêts et bosquets, de prairies et de jachères et de zones humides, sont les premiers critères évalués. Ces critères reprennent ceux de DEXI ARENA. Pour les zones artificialisées, on retrouve la proportion en cultures annuelles, pérennes et en zones urbanisées. Enfin pour les linéaires, on retrouve les linéaires de haies et de bandes enherbées et fleuries. La proportion de chaque zone est évaluée, cela donne une idée de la répartition du paysage et de l'occupation du sol de l'environnement. L'O.I.L.B. (Organisation Internationale de Lutte Biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles) préconise en effet de réserver au minimum 5% de la Surface Agricole Totale des exploitations en surfaces de compensation écologique pour les auxiliaires (Parolin et al., 2012) et d'autres auteurs avancent que l'optimum se situe autour de 10% de la S.A.T. (Häni et al., 1998).

Les surfaces de zones naturelles sont très importantes pour le développement et la présence des auxiliaires de culture. Les surfaces des forêts, bois et bosquets sont prises en compte car elles sont indispensables pour les syrphes qui trouvent abri pour passer l'hiver dans les surfaces forestières afin de lutter contre le vent et les températures basses (Bessat et al., 2019). Il en est de même pour les chrysopes qui trouvent refuge dans les bois à proximité des parcelles cultivées durant la journée ou pendant l'hiver pour s'y reproduire (Tosser et al., 2022).

Les prairies et jachères sont aussi favorables aux ennemis naturels. Il a été démontré que les populations de syrphes sont plus riches et diversifiées avec la présence de prairies, de même que l'abondance des coccinelles est plus importante dans les prairies, et pour les micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons qui peuvent trouver refuge dans les prairies l'hiver (Tosser et al., 2022). Ces effets s'expliquent car elles ne sont pas ou peu perturbées par les



opérations culturales, comme le travail du sol, et leur effet est d'autant plus important qu'elles sont anciennes et diversifiées.

Les surfaces des zones humides sont aussi positives pour les ennemis naturels. Leur effet est plutôt indirect, car les zones humides et les abords des cours d'eau sont caractérisés par des zones non entretenues ou très peu et sont le réservoir d'espèces végétales particulières qui peuvent être le support de proies pour les ennemis naturels et ainsi les favoriser (Bertrand, n.d.). Ce sont également des zones protégées qui ne subissent pas de perturbations et qui peuvent maintenir un écosystème spécifique. Enfin, ils abritent la ressource en eau, indispensable à toute vie.

Les surfaces des zones artificialisées sont ensuite étudiées dans le modèle, elles font référence aux surfaces modifiées ou entretenues par les actions des hommes. Les surfaces cultivées de façon annuelle sont des zones subissant de nombreuses perturbations, en fonction du système de culture leur présence peut être plus ou moins négative (les syrphes sont plus abondants dans les cultures de colza, de pois et de céréales par exemple) ; c'est dans un souci de simplification que le type des cultures annuelles ne sera pas pris en compte. Dans l'ensemble, l'effet considéré sera alors négatif, des publications remarquent que l'augmentation du pourcentage de l'occupation des sols par les cultures annuelles défavorise les populations d'auxiliaires et notamment les parasitoïdes de pucerons du fait de l'amointrissement du nombre de proies (Tosser et al., 2022).

Les surfaces en culture pérenne sont ensuite prises en compte. Ce sont des espaces qui sont moins perturbés que les cultures annuelles car ils ne subissent pas les actions culturales comme les labours ou la récolte et l'exportation de toute la biomasse végétale. Ainsi les cultures pérennes peuvent offrir des opportunités d'habitats pour l'hivernation des hyménoptères parasitoïdes qui peuvent passer l'hiver dans des momies de pucerons présentes sur la culture (Burel et al., 2008).

Les surfaces des zones urbanisées sont limitantes pour la présence des auxiliaires. Les bâtiments ne sont pas des refuges pour la plupart des ennemis naturels. Aussi, la présence de routes entre aménagements agro-écologiques et zones cultivées limite le déplacement de la faune (Yakovleff, 2015)(Harwood, 1994 cité par Sommaggio, 1999).

Finalement, les linéaires d'habitats, considérés comme des corridors écologiques, sont évalués. Les haies et les bandes fleuries et enherbées sont considérées avec un effet positif de leur présence pour les mêmes raisons qu'exprimées précédemment (diversité des ressources et des habitats). Les haies notamment peuvent servir de plantes banques en fournissant des ressources secondaires lorsque les cultures en manquent, maintenant ainsi en permanence une population d'auxiliaires et favorisant ensuite l'arrivée rapide des syrphes sur la parcelle. Elles servent aussi de refuges et d'abris que ce soit pour passer l'hiver ou pour survivre aux perturbations de la parcelle cultivée (Reeve, 1988, 1990; Hassell and Godfray, 1992; Wissinger, 1997).

Pour le système de culture, il a fallu concevoir un nouveau modèle prenant en compte les caractéristiques principales des systèmes de cultures horticoles. La culture est le premier facteur étudié, par sa diversité puis par son fleurissement. La diversité se traduit par le nombre de cultures dans la parcelle, c'est un critère que l'on retrouve notamment dans l'outil d'évaluation pour la certification HVE/ plante bleue 3. Le nombre de cultures est considéré dans le volet biodiversité, le même principe de la diversification du milieu explique son intérêt ; l'augmentation du nombre de cultures implique l'augmentation du nombre d'habitats et de ressources et peut ainsi répondre aux besoins de plus d'espèces. Des effets plus directs peuvent aussi augmenter le potentiel auxiliaire, en diversifiant les cultures, les ressources sont





diluées dans l'environnement pour la population herbivore. La diversification des plantes contre les ravageurs peut aussi créer une rupture de l'espace avec la séparation d'espèces ou la dilution des ressources (camoufler les espèces cultivées par exemple) et ainsi limiter l'infestation (Ratnadass et al., 2012). L'identification de la plante d'intérêt et l'installation d'une population peut donc prendre plus de temps et ainsi permettre aux insectes auxiliaires d'occuper le milieu et d'avoir un meilleur contrôle des populations de ravageurs. En culture horticole, selon le type de production, il peut y avoir un fleurissement des plantes produites. Même si les plantes sélectionnées pour leurs caractères horticoles (compacité, vigueur, esthétique) ne sont pas celles produisant le plus de ressources pour les insectes, ou avec la plus grande attraction ou l'architecture la plus adaptée aux auxiliaires, elles peuvent présenter une source secondaires pour l'alimentation en pollen et en nectar ; les fleurs peuvent avoir un pouvoir d'attraction de par leur forme ou leur couleur. En grande culture, la floraison dans les champs est corrélée avec l'abondance de syrphes, d'autant plus lorsque la floraison a lieu en fin d'été, ce qui permet aux auxiliaires de se fournir en pollen et nectar avant la phase d'hivernation (Sarhou et al., 2005).

L'itinéraire de cultures est un autre attribut spécifique pris en compte dans l'évaluation du potentiel auxiliaire. La période de culture est prise en compte, car pour être les plus efficaces et performants une majorité des auxiliaires doivent hiverner sur place, pour ainsi être présents dès le début du printemps sur la culture. Ainsi, la période d'installation de la culture idéale est l'automne, avant que les auxiliaires cherchent un site pour passer l'hiver. De surcroît, plus la durée de production sera longue, mieux la population d'ennemis naturels pourra s'installer et s'implanter dans cette culture pour réaliser son service, la période de recolonisation sera aussi annulée si la culture reste implantée plus longtemps et que les auxiliaires peuvent y passer l'hiver.

Les perturbations sont donc à éviter au maximum, la taille et les déplacements des cultures sont des grosses perturbations pour les auxiliaires avec une destruction, une réduction ou un déséquilibre des habitats et des ressources. Le nombre de ces perturbations doit alors être le plus faible possible, et doit différer de la période de diapause hivernale lors de laquelle les populations d'auxiliaires peuvent être installées dans la culture. En effet, une action de taille ou de déplacement des cultures peut réduire ou supprimer les populations d'auxiliaires durant l'hiver, celles-ci n'ayant pas la possibilité de fuir vers des zones refuges. Il a été démontré dans des vergers de grenadiers que la taille hivernale réduit le nombre d'ennemis naturels dans la parcelle (Mdellel et al., 2015). Comme exprimé précédemment, une nouvelle phase de colonisation devra donc avoir lieu pour réduire le potentiel auxiliaire en début de saison. Une autre étude démontre que plus le nombre de syrphes passant l'hiver est élevé dans les parcelles, plus le nombre de pucerons au printemps reste faible en grandes cultures (Raymond et al., 2014). La taille a aussi un effet direct sur la présence de ravageurs, il a été observé par Braham & Amor (2018) que les citronniers les plus taillés sont les plus infestés par le puceron *Aphis spiraeicola* et que la présence des auxiliaires n'est pas suffisante pour contrôler l'infestation. La taille induit un déséquilibre des niveaux trophiques en fournissant plus de ressources (les jeunes pousses ont une grande appétence pour les pucerons) pour les insectes herbivores alors qu'elles retirent des ressources (potentiellement des fleurs) et des habitats pour les populations auxiliaires. Enfin l'usage d'intrants est le dernier élément considéré dans l'évaluation de l'itinéraire technique. Les insecticides, mêmes ceux jugés sans effet sur les populations auxiliaires, ont des effets très négatifs sur les populations. Il s'agit d'une perturbation très forte qui s'applique aux populations en retirant des individus de celle-ci. L'effet peut être direct avec la mortalité des ennemis naturels ou indirect avec la suppression de leurs ressources, les ravageurs. Plusieurs études démontrent ces effets, l'utilisation régulière d'insecticides a été corrélée à

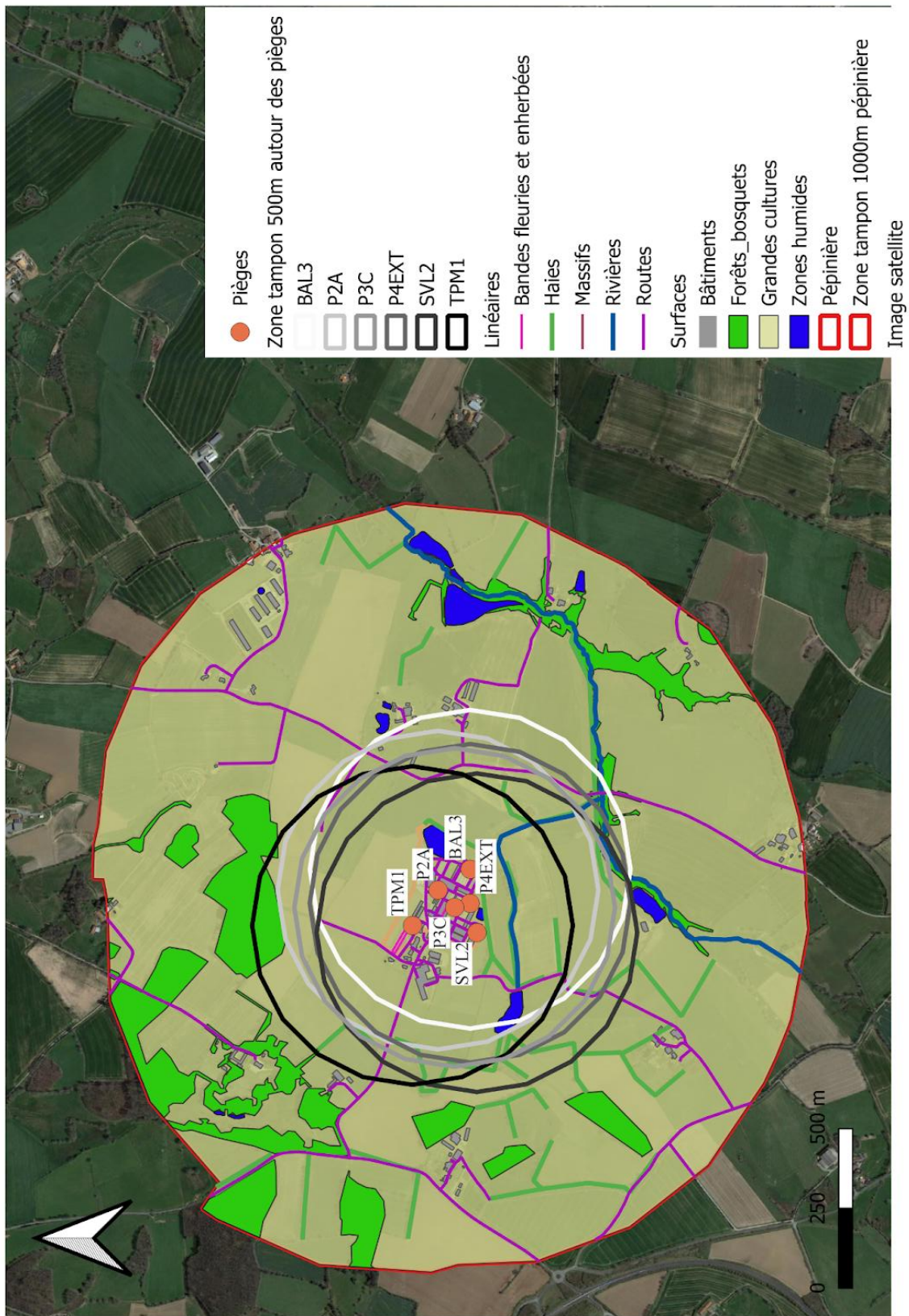


Figure 7: Cartographie de la pépinière et des zones tampons évalués autour des pièges

une mortalité directe des syrphes et indirecte en supprimant leurs proies. L'utilisation d'engrais chimiques a également un effet sur les auxiliaires. Peu d'effets directs ont été démontrés, mais l'utilisation d'engrais chimiques a des effets négatifs sur les staphylins (Fauvergue et al., 2020). Iperiti (1999) remarque que les coccinelles sont sensibles également à une fertilisation excessive qui peut occasionner une surmortalité des larves de coccinelles par rapport à une fertilisation organique. En revanche, des effets indirects, avec la perturbation une nouvelle fois des réseaux trophiques, sont bien démontrés. Les engrais chimiques, notamment azotés, ont pour effet une production de biomasse importante et des plantes très vigoureuses. Les ravageurs herbivores trouvent alors plus de ressources, d'autant plus que les plantes vigoureuses et produisant plus de jeunes pousses sont les plus appétentes. Il a été remarqué par une étude d'Aqueel et al. (2014), que les pucerons se nourrissant sur des plantes nourries avec des doses d'azote importantes sont plus volumineux. Ainsi des insectes auxiliaires comme les chrysopes, qui consomment la même masse de pucerons quelle que soit la dose d'azote apportée, ne peuvent en consommer qu'un nombre réduit, leur potentiel de prédation est donc réduit lui aussi.

Le dernier attribut agrégé est l'infrastructure des parcelles. Les parcelles horticoles peuvent être très différentes, allant de la parcelle extérieure à la serre à atmosphère contrôlée. Elles présentent alors un fort effet sur le potentiel auxiliaire en leur sein. Tout d'abord, l'effet de la taille des parcelles peut être considéré de façon similaire à la grande culture. On observe notamment des difficultés de transfert des ennemis naturels des aménagements agro-écologiques situés aux abords des parcelles jusqu'en leur centre. Des études démontrent un bon contrôle des ravageurs par les auxiliaires aux abords des parcelles, tandis qu'à l'intérieur de celles-ci la présence des auxiliaires est moindre. Ainsi, bien que la présence de parcelles dépassant l'hectare reste rare en production horticole ornementale, la taille de celles-ci a une influence importante sur le potentiel auxiliaire. Par ailleurs, le type d'infrastructure dans lequel les plantes sont cultivées est important. Pour prendre en compte la pluralité des systèmes, il a été choisi de les évaluer en fonction de l'ouverture des parcelles plutôt que par type de serre. Une étude récente de (Doehler et al., 2023) exprime que le degré d'ouverture des serres influence le ratio des cultures colonisées par les différentes populations d'insectes. Ainsi, les serres les plus ouvertes avaient des plantes moins infestées par les pucerons ; cela étant en partie expliqué par l'effet des ennemis naturels. Il fait sens que la bonne régulation des populations de ravageurs par les auxiliaires dépende de leur capacité à les atteindre ; le nombre d'ouvertures est donc un facteur du potentiel auxiliaire. On considère que les parcelles de production sont en majorité rectangulaires ; les ouvertures peuvent être sur le sens de la largeur (frontale) avec une ouverture plus faible ou dans le sens de la longueur (latérale) avec une longueur plus importante. De plus, les insectes auxiliaires, pour la plupart volants, n'ont pas des capacités de vol très développées, leur pénétration dans les serres dépend notamment de l'orientation de la serre par rapport aux vents. Si les serres se trouvent dans le sens d'un grand couloir, alors les chances pour que les auxiliaires trouvent l'entrée de la parcelle sont majorées.

En outre, de nombreuses serres sont équipées d'ouvrants qui peuvent se fermer au gré des besoins de la culture. L'ouverture d'une serre n'est donc pas constante pour la plupart, nous permettant de considérer la période de celle-ci. Plus la parcelle sera ouverte, plus la pénétration des auxiliaires sera possible ; deux périodes clés sont tout de même identifiées. Comme exprimé précédemment, un bon facteur du potentiel auxiliaire est l'hivernation des auxiliaires au sein même de la culture, ainsi les serres qui sont ouvertes en automne ont un potentiel de colonisation par les auxiliaires plus élevé. Cependant, certaines actions culturales réduisent le nombre d'auxiliaires présents dans les cultures (comme la taille ou le déplacement). Ainsi même s'ils ont hiverner dans la culture, la quantité d'auxiliaire encore

Tableau 4: Valeur et pourcentage des différents attributs basiques pour les parcelles évaluées

|       |                   | Bandes fleuries et enherbée | Haies  | Zones urbaines | Cultures pérennes | Cultures annuelles | Zones humides | Prairies et jachères | Forêts/bosquets |
|-------|-------------------|-----------------------------|--------|----------------|-------------------|--------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| BAL3  | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 2235,0 | 40040,0        | 8732,0            | 705930,0           | 15985,0       | 0,0                  | 10692,0         |
|       | %                 |                             |        | 5,1            | 1,1               | 90,3               | 2,0           | 0,0                  | 1,4             |
| P2A   | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 1766,0 | 37742,0        | 8732,0            | 719007,0           | 15876,0       | 0,0                  | 21,0            |
|       | %                 |                             |        | 4,8            | 1,1               | 92,0               | 2,0           | 0,0                  | 0,0             |
| P3C   | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 2456,0 | 36366,0        | 8732,0            | 719690,0           | 16072,0       | 0,0                  | 518,0           |
|       | %                 |                             |        | 4,7            | 1,1               | 92,1               | 2,1           | 0,0                  | 0,1             |
| SVL2  | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 3274,0 | 34259,0        | 8732,0            | 717539,0           | 16796,0       | 0,0                  | 4053,0          |
|       | %                 |                             |        | 4,4            | 1,1               | 91,8               | 2,1           | 0,0                  | 0,5             |
| TPM1  | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 2038,0 | 36328,0        | 8732,0            | 707602,0           | 15700,0       | 0,0                  | 13016,0         |
|       | %                 |                             |        | 4,6            | 1,1               | 90,6               | 2,0           | 0,0                  | 1,7             |
| P4EXT | m <sup>2</sup> /m | 375,0                       | 2525,0 | 36903,0        | 8732,0            | 713093,0           | 17084,0       | 0,0                  | 5567,0          |
|       | %                 |                             |        | 4,7            | 1,1               | 91,3               | 2,2           | 0,0                  | 0,7             |

présente à la sortie de l'hiver peut être plus faible. Il est donc important de favoriser la recolonisation au début du printemps et d'avoir des serres ouvertes à cette période. Enfin, les aménagements au sein des parcelles comme la présence de plantes fleuries sont pris en compte. Il peut également s'agir de refuge pour pallier aux perturbations et mouvements des plants tels que les fagôts de sureau pour hyménoptères chasseurs ou les boîtes d'œufs pour les chrysopes. De plus, ces aménagements peuvent aussi favoriser la colonisation des parcelles par les auxiliaires en ayant un rôle attractif et en servant de corridors écologiques jusqu'au milieu des parcelles.

### 3. Évaluation de différentes parcelles de l'exploitation

Afin d'utiliser l'arbre de décision et de remplir les critères paysagers, une cartographie de la pépinière et ses alentours a été réalisée (Figure 7). Le logiciel de système d'information géographique QGIS a été utilisé dans sa version 3.32.1, ainsi que les données de cartographie datant de 2021 et fournies par le gouvernement. Ainsi, pour chacune des parcelles, l'environnement avec les surfaces et les linéaires des divers aménagements ont pu être calculés (Tableau 4). Les résultats pour l'environnement à grande échelle sont très proches pour l'ensemble des parcelles. Effectivement, la superficie de la pépinière étant limitée à 7 ha nous fait constater des zones tampons de 500 m autour de chaque parcelle fortement regroupées. On observe également que la pépinière est majoritairement entourée de zones de grandes cultures découpées par des haies, des forêts ou des bosquets caractéristiques du bocage vendéen.

Avec les données topographiques récoltées avec QGIS, on remarque que l'environnement de la pépinière est majoritairement composé de cultures annuelles. Les surfaces en bois et bosquets, bien que variant fortement, ne dépassent pas les 1,5% de l'environnement dans les 500 m autour de la parcelle. Aucune surface de prairie ou de jachères n'a été relevée puisque les données topographiques n'en font figurer aucune. Les zones humides, qui s'apparentent aux zones naturelles, comme le cours d'eau passant au sud de la pépinière ou aux zones créées par l'Homme pour retenir l'eau pour l'irrigation, sont présentes à hauteur de 2% dans l'environnement de chaque parcelle. Les cultures pérennes identifiées sont les pieds-mères installés à la pépinière ; il s'agit majoritairement d'arbustes, cultivés en pleine terre et entretenus (taillés, fertilisés...) à diverses saisons pour en collecter du matériel végétale à destination des multiplications par bouturage. Les zones urbanisées regroupent les bâtiments et les routes pour environ 5% du paysage de chacune des parcelles. Le linéaire de haies est chaque fois compris entre 200 m et 1 km. Les bandes fleuries et enherbées prises en comptes sont celles présentes dans la pépinière. Les données topographiques sont manquantes pour les parcelles extérieures, leur longueur est ainsi la même pour toutes les parcelles.

Les résultats de l'arbre DEXI sont présentés en annexe III. Le potentiel auxiliaire final pour chaque parcelle varie de défavorable à très favorable. Les parcelles sont classées alors de P2A>BAL3F>BAL3NF, TPM1>SVL2A, P4EXT>P3C. Pour comprendre ces variations, on peut étudier les différents attributs évalués. On constate que pour l'environnement de la parcelle, les notes varient entre peu favorable et favorable, avec un ordre différent du potentiel auxiliaire. Les parcelles sont classées pour leur environnement P2A, TPM1, SVL2A et P4EXT comme étant les plus favorables, les autres sont peu favorables. Les parcelles ayant toutes la même évaluation, soit peu favorable pour l'environnement à grande échelle, les variations s'expliquent par l'environnement proche à 100 m autour de la parcelle. En effet, les parcelles P2A,SVL2A et P4EXT sont classées très favorable, TPM1 favorable et les restantes peu favorables. Les attributs expliquant ce classement sont la végétalisation des bordures, avec la présence de massifs en P2A, SVL2A et P4EXT et la présence de bandes enherbées et fleuries en TPM1 et P4EXT.



Tableau 5: Semaine de floraison des plantes de services

| Espèces/<br>semaine<br>de<br>floraison | 1<br>4 | 1<br>5 | 1<br>6 | 1<br>7 | 1<br>8 | 1<br>9 | 2<br>0 | 2<br>1 | 2<br>2 | 2<br>3 | 2<br>4 | 2<br>5 | 2<br>6 | 2<br>7 | 2<br>8 | 2<br>9 | 3<br>0 | 3<br>1 | 3<br>2 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Soucis                                 |        |        |        | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |
| Bleuet                                 |        |        |        | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |
| Alysson<br>maritim<br>e                |        |        |        |        |        |        | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |
| Basilic                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | X      | X      | X      | X      | X      | X      |
| Achillée                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | X      | X      | X      | X      | X      |



Figure 9: Photos des plantes de services dans la culture de Photinias (Latorre,2023)

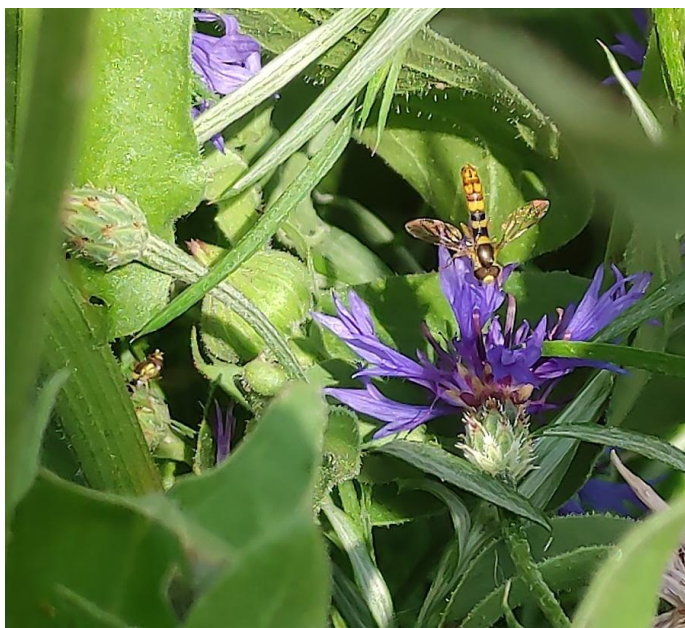


Figure 8 : Photo d'une syrpe avec une fleure de bleuet (Latorre,2023)

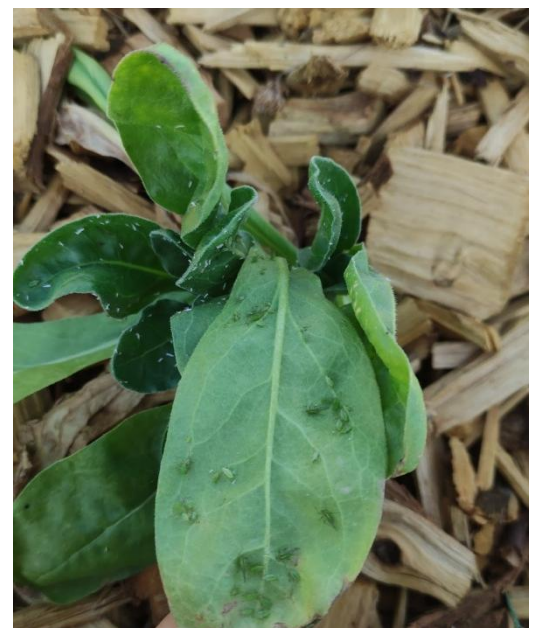


Figure 10: Pucerons sur souci (Latorre, 2023)

Pour le système de culture, les résultats sont plus hétérogènes, allant de très défavorable à très favorable. La parcelle la moins bien évaluée est P3C, cela s'explique notamment par la mauvaise évaluation de la période de culture et des infrastructures qui relèvent d'un tunnel bâché pour la majeure partie de l'année avec de faibles ouvertures et l'absence d'aménagements agro-écologiques au sein de la parcelle. Les parcelles SVL2A et P4ext ont un système de culture défavorable. Pour la serre SVL2A, c'est l'itinéraire technique, en particulier la taille et la date d'installation de la culture, qui la rend moins favorable aux auxiliaires. En revanche pour la P4ext, c'est notamment la date d'installation de la culture et sa courte durée, mais aussi la taille de la parcelle qui sont défavorables, et ce malgré ses caractéristiques extérieures en plein air très bénéfiques. Le TPM1 est classé comme peu favorable, en dépit de son type de culture et de la période de production favorable. Les intrants utilisés, comme l'usage à plusieurs reprises de pesticides, ainsi que les caractéristiques de la parcelle, un tunnel ne disposant que d'une ouverture latérale, ne font pas de cette parcelle une parcelle très bénéfique aux auxiliaires. La BAL3 a été étudiée avec et sans aménagement. On remarque que non fleurie, la BAL3NF est peu favorable, principalement du fait de la monospécificité de la culture et de la taille de la parcelle. En revanche, avec un aménagement supplémentaire au sein de la parcelle, elle (BAL3F) devient favorable aux auxiliaires. La P2A est la parcelle avec le meilleur potentiel auxiliaire, étant très favorable. Elle possède une bonne diversité de culture, avec une implantation et une durée suffisante pour supporter les activités d'hivernation. Les cultures sont peu taillées, restent installées longtemps et se caractérisent par une utilisation limitée d'insecticides. La parcelle est petite, se trouve en majorité à l'extérieur, avec une pénétration facilitée des auxiliaires qui en découle.

## B. Expérimentation

### 1. Évaluation d'aménagements agro-écologiques

#### a) Floraison des plantes de services

Les floraisons du souci et du bleuet ont eu lieu en premier, lors de la semaine 17, soit 3 semaines après le semis (Figure 9). L'alysson maritime a ensuite fleuri à partir de la semaine 20, puis le basilic est monté en fleur en semaine 27, suivi de l'achillée qui a fleuri en semaine 28. Le calendula a eu la plus longue période de floraison qui s'est étalée sur toute la durée de l'essai, suivi du bleuet qui a fleuri tôt mais qui est mort en semaine 29. L'alysson a refleurie de nombreuses fois pendant les 11 semaines de floraison observées. Le basilic et l'achillée n'ont pas fleuri avant le début de l'essai ; à la fin de celui-ci, ces deux espèces étaient alors encore en pleine floraison avec un potentiel de floraison jusqu'à l'automne. Au même moment, le soucis et l'alysson, bien que toujours fleuris, montraient des signes de dépérissement et de fin de floraison (moins de fleur, assèchement des parties végétatives...) ; il n'est nul doute que leur floraison ne s'étalera pas jusqu'en automne (Tableau 5).

#### b) Etat sanitaire des plantes de services

Après le rempotage des plantes de service en godet, celles-ci ont été installées en serre et ont été colonisées par des pucerons *Aphis spiraeicola* (Figure 10). Des auxiliaires de culture ont alors été observés, des adultes et larves de syrphes étaient très présents, ainsi que des adultes et larves de coccinelles (Figure 8). Les godets ont eu deux devenir. On observe une diminution jusqu'à disparition en semaine 24, soit avant installation de l'essai, du nombre de pucerons pour les plants positionnés dans les boîtes en extérieur. Concernant les plantes de services restées en godets pour être disposées dans les planches de culture, elles sont restées sous serre jusqu'à l'installation dans la culture de *Photinias* ; on observe que les pucerons étaient toujours

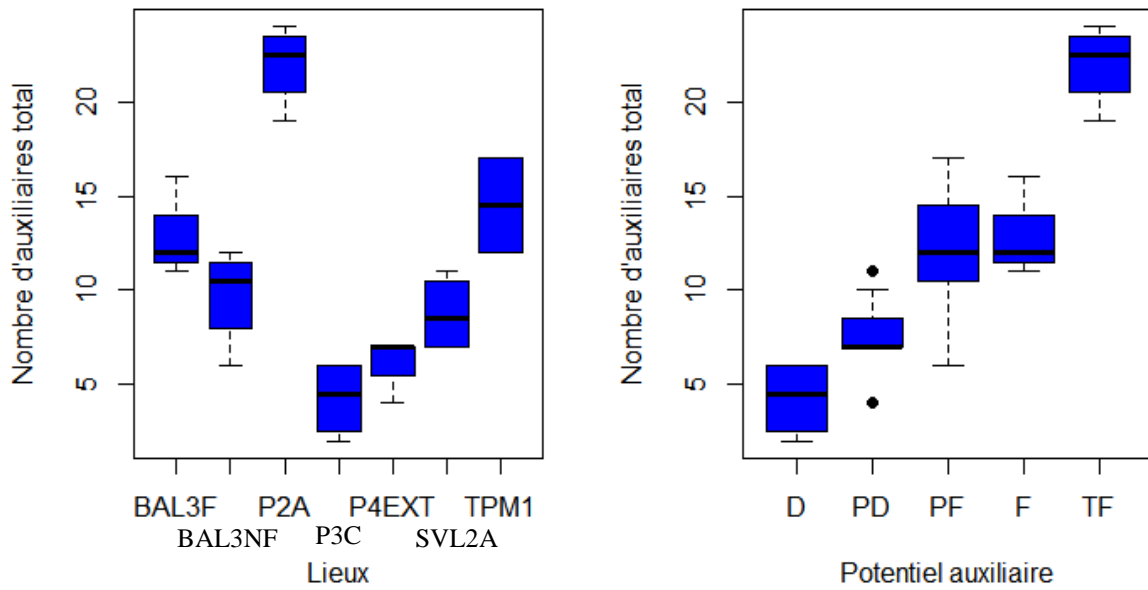


Figure 13: Nombres d'auxiliaires piégés en fonction des lieux ou du potentiel auxiliaire

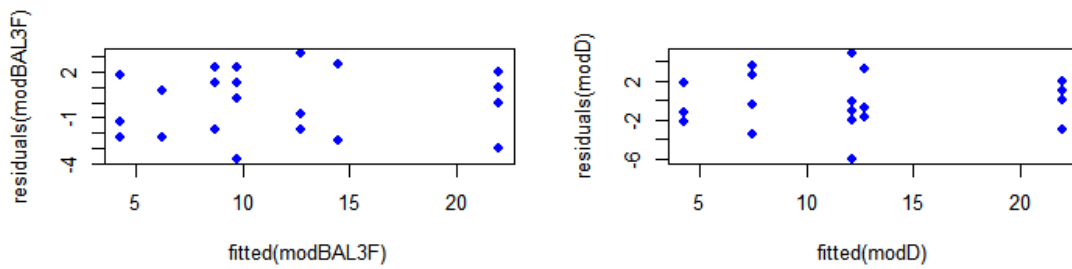


Figure 11: Evaluation de l'égalité des variances des résidus, la répartition est un nuage de point, l'homoscédasticité est validé

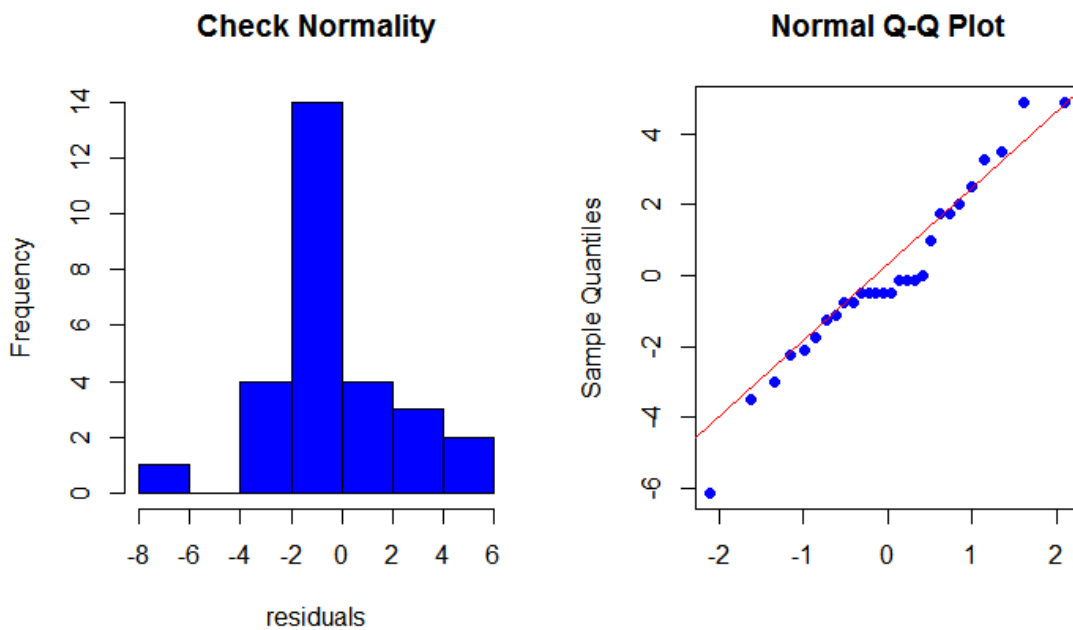


Figure 12: Evaluation de la normalité des résidus pour les modèles Potentiel auxiliaires, les valeurs sont normalement distribués et suivent la courbe rouge, la normalité est validée



présents sur les plantes fleuries lors du début de l'expérimentation. L'infestation de ces plantes de services a été caractérisée comme faible, le nombre de pucerons ne dépassait pas 5 individus par organes végétaux (tiges, feuilles...). Lors du suivi des plantes de service, les boxs n'ont jamais été infestés une nouvelle fois de pucerons ; cependant, des auxiliaires volants ont été observés à chaque fois, il s'agissait de syrphes et de coccinelles, celles-ci n'ont pas été dénombrées faute de leur mobilité. Pour les plantes installées dans la culture, au bout de 2 semaines, une quantité plus importante de pucerons vivants a été observée sur les potées fleuries. En conséquence de la fin de cette infestation, les auxiliaires ont été moins observés à partir de la semaine 27. Les auxiliaires observés étaient en majorité les syrphes, les coccinelles, ainsi que des araignées et des hémérobes. Un cortège d'insectes pollinisateurs était aussi souvent présent sur les potées fleuries comme les bourdons.

### *c) Etat sanitaire de la culture*

Sur les plantes cultivées, et ce pendant les premières semaines, quelques individus isolés de pucerons ont été observés mais n'ont jamais formé de colonies ; on peut considérer que la culture n'a pas été infestée. De même, aucun auxiliaire n'a été observé sur les Photinias. Ainsi, ni analyse de l'infestation ni comparaison des différents facteurs n'ont pu être réalisées.

## **2. Effet de la parcelle sur la présence des auxiliaires**

### *a) Récolte des données*

Les pièges englués disposés dans les parcelles ont permis d'estimer le nombre d'insectes auxiliaires dans différentes parcelles de la pépinière. Les identifications ont été réalisées jusqu'à la famille à l'aide d'une loupe binoculaire. Les différents auxiliaires observés ont été en majorité les syrphes, suivis des hyménoptères parasitoïdes, puis des staphylins. Une coccinelle a aussi été observée sur un piège, à noter que celles-ci ne sont en théorie pas attirées par les pièges englués jaunes ; on considère sa présence comme relevant du hasard. On peut aussi constater l'absence de chrysopes ; ne faisant pas partie des populations d'auxiliaires, de nombreux diptères ont également été piégés. C'est également le cas des arachnides qui peuvent avoir un rôle dans la régulation des ravageurs. Pour autant, ce rôle n'est pas pris en compte dans le modèle DEXI ; il a été décidé de ne pas les compter dans le nombre d'auxiliaires. Le nombre d'auxiliaires piégés s'élève au total 313, allant de 2 à 24 auxiliaires par face des pièges englués (Figure 13, Annexe II).

### *b) Analyse des données*

L'analyse ANOVA du nombre d'insectes auxiliaires piégés par parcelle nous donne un modèle par lieu. Ces modèles expliquent à 85% les résultats obtenus et peuvent donc servir pour l'interprétation des résultats. De plus, les hypothèses d'homoscédasticité des résidus et de normalité des résidus peuvent être acceptées au vu des graphiques ci-contre (Figure 11 et 12). Dans le tableau des P-Values des différents modèles ANOVA, on constate que le nombre d'insectes piégés peut être considéré comme significativement différent à 95% de chance pour une majorité des parcelles, avec une pvalue < 0.05 (Tableau 7). La parcelle extérieure P2A est significativement différente de toutes les autres parcelles et comptabilise le plus d'auxiliaires piégés, de même que le tunnel P3C est significativement différent de toutes les parcelles et comptabilise le plus faible nombre d'auxiliaires piégés. Le tunnel de pieds-mères TPM1 est significativement différent de toutes les autres parcelles, à l'exception de la Bal3F, avec plus d'auxiliaires piégés que dans les parcelles BAL3NF, P3C, P4EXT et SVL2A et moins qu'en P2A. Pour la BAL3F, la serre possédant les aménagements fleuris, il n'y a pas de différence avec BAL3NF, SVL2A. En revanche, un plus grand nombre d'insectes a été collecté par



rapport à P3C et P4ext. Entre la BAL3NF, la P4ext et la SVL2A, il n'y a pas de différences significatives. On pourrait alors classer les parcelles par le nombre d'auxiliaires piégés telles que : P2A>TPM1=BAL3F>=BAL3NF, SVL2A>P4EXT>P3C

Lorsque l'on analyse le nombre d'insectes auxiliaires piégés en fonction du potentiel auxiliaire de la parcelle, on observe beaucoup de différences significatives. Ces modèles expliquent les résultats à 80% (Tableau 6) ; les hypothèses d'homoscédasticité des résidus et de normalité des résidus sont également confirmées. On observe une différence significative du nombre d'auxiliaires piégés entre les niveaux "très favorable" et tous les autres niveaux, avec une quantité d'auxiliaires piégés toujours supérieure. Le niveau "favorable" est différent des niveaux "défavorable" et "un peu défavorable", mais n'a pas de différence significative avec "peu favorable". De même, "peu favorable" est significativement différent de "défavorable" et de "un peu défavorable". Aucune différence significative n'a été observée entre les niveaux "défavorable" et "un peu défavorable". On peut alors classer le nombre d'auxiliaires piégés en fonction de la note DEXI comme : Très favorable > Favorable = Peu favorable > Un peu défavorable = Défavorable.

Les hypothèses de réalisation de modèles ANOVA ont été vérifiées par graphiques ; quant aux normalités, les résidus suivent une distribution normale pour les deux modèles. Pareillement, et ce pour les deux modèles, l'homoscédasticité des résidus est validée ; effectivement, il n'y a pas de motif précis dans la répartition des différences entre mesures réelles et celles du modèle.

## V. Discussion

### A. L'absence de résultats exploitables de la première expérimentation

#### 1. Conception de l'expérimentation

L'absence d'infestation des Photinias par les pucerons peut avoir différentes explications. On s'interroge d'abord sur la conception de cette expérimentation. Sur d'autres cultures, des pucerons *Aphis spiraeicola* ont été observés dans la pépinière pendant la durée de l'expérimentation. Ces cultures suivent un cycle de production différent des Photinias évaluées ; il s'agit de cultures de citronniers et de rosiers en conteneur. Les citronniers sont issus de greffes et ont un stade de développement bien plus avancé que les jeunes plants de Photinias. Ils ont également été installés au sein de la pépinière en mars, du fait de leur âge et de leur période de mise en culture, leur développement en juin était très avancé. De plus, afin de répondre aux besoins élevés en éléments fertilisants, cette culture est plus fertilisée que les autres. Tous ces éléments amènent donc à une présence de jeunes pousses plus précoces, plus abondantes et plus appétentes pour les pucerons. Les rosiers sur lesquels ont été observés les pucerons sont quant à eux des cultures en conteneurs de pieds-mères. Ils ont ainsi été installés depuis l'hiver sous tunnel et ont subi différentes tailles afin de prélever du matériel végétal. Ce sont des éléments qui favorisent aussi la présence des bioagresseurs au printemps.

Il est à noter, qu'en dépit de l'attractivité et de la sensibilité des cultures plus forte à une infestation par les pucerons, celle-ci aurait pu avoir lieu également sur les Photinias, même si plus tardive, ce qui arrivait initialement lors des dernières saisons de culture. Cette année de production s'est en effet révélée particulière du fait de certaines contraintes techniques spécifiques à la production. La saison commerciale du printemps s'est montrée très riche du fait de son intensité et de sa durée. Les équipes de production se sont alors retrouvées



occupées plus longtemps à la commercialisation des plantes produites l'année N-1. Ainsi, plusieurs chantiers se sont vus décalés tels que le vidage, le nettoyage des serres ou les activités de rempotage. La mise en production des Photinias, initialement prévue en semaine 22, la dernière de mai, a donc été décalée. Les Photinias ne représentent pas un produit à forte valeur ajoutée, le choix en fut fait de privilégier les espèces plus intéressantes et de retarder leur mise en culture. Le retard final de 3 semaines du rempotage, et donc de la mise en culture, a également retardé la croissance végétative des plants. Le développement de nouvelles pousses a eu lieu 2 à 3 semaines après la mise en culture, les Photinias n'ont pas été appétents et n'ont pas attiré les bioagresseurs avant ce développement?

## **2. Conditions climatiques limitantes pour l'infestation par le puceron**

Le climat de la saison peut aussi avoir un rôle dans l'absence d'infestation. Le climat presque automnal du mois de juillet, avec des températures maximales et minimales moyennes respectives de 25,3°C et 14,3°C, complétées par 55 mm de précipitations sur le mois, rassemble des conditions bien inférieures à celles de 2022. Cette année-là, la température maximale moyenne était de 29,8°C, la minimale moyenne de 16,3°C, avec 19 mm de précipitations.

Ce climat a pu avoir des effets sur les pucerons et donc leur infestation. Des températures modérées et une forte pluviométrie peuvent ralentir leur développement et leur reproduction (Kindlmann et al., 2010). En effet, dans une étude de l'AREXHOR en 2014 et 2015 sur l'évaluation des aménagements agro-écologiques sur la culture de *Photinia x fraseri*, on constate que les dynamiques de l'infestation sont différentes selon les régions. En Bretagne, le climat doux et tempéré du printemps a induit une limitation des pics d'infestation, en lien avec la latence de l'infestation par les pucerons avec un délai qui a permis aux auxiliaires d'arriver sur la parcelle. Parallèlement, en Aquitaine, d'un climat plus chaud, la régulation ne s'est pas faite dans les mêmes proportions. (Bresh & al, 2018 HORTIPEPI).

## **3. Effet des plantes de services installées**

Les résultats de l'outil DEXI peuvent aussi apporter un élément de réponse. Avec ses aménagements, le modèle estime que le potentiel auxiliaire de la parcelle BAL3F est favorable. Quelques pucerons ont été observés après l'installation de la culture, ceux-ci auraient pu mener à une infestation, c'est alors qu'on peut supposer que les auxiliaires étaient présents durant la phase latente de l'infestation et ont donc pu réguler la population de ravageurs dès le départ. Ce constat est bien corrélé avec les observations faites sur les potées fleuries. Installées alors qu'elles étaient contaminées par les pucerons, ces derniers ont disparu en deux semaines du fait de l'action des auxiliaires. Les potées fleuries, qui ont été installées infestées, également avec des auxiliaires, ont donc servi de plantes banques en fournissant des ressources alternatives aux auxiliaires avant l'apparition de ravageurs sur la culture ; lorsque ceux-ci sont apparus, ils ont été rapidement régulés et l'infestation n'a pas eu lieu. Les contraintes techniques de production et de la réalisation de ce travail ont malheureusement empêché la création de l'outil DEXI avant que ne soit conçue l'expérimentation. Il n'a donc pas pu être utilisé pour prédire ces résultats.

Il est aussi difficile de conclure avec certitude sur le seul effet des plantes de services. L'expérimentation, qui prend place dans une unique serre de production, nous rend témoin du manque évident d'un témoin négatif, sans présence de plantes fleuries ni aux abords, ni à l'intérieur de la parcelle. Il n'a pas été possible d'intégrer dans le design expérimental un témoin négatif avec pour cause les contraintes de production (nombre de plants et surface allouée à l'essai limités, tous les plants doivent être regroupés dans le même lieux de production). De plus, ces résultats ne sont pas confirmés avec les piègeages. Le nombre



d'auxiliaires piégés dans la parcelle BAL3 n'est pas élevé. Cette absence peut s'expliquer par l'absence au moment du piégeage de pucerons dans la culture. Les auxiliaires ne trouvant pas de proies, n'avaient pas d'intérêt à être présents dans la serre. De plus, certaines plantes de services n'étaient plus fleuries, ceci rendant les potées fleuries moins attractives pour les auxiliaires. Ainsi, la quantité d'insectes auxiliaires aurait pu être différente, et notamment plus élevée, si le piégeage avait eu lieu plus tôt, avec les potées au maximum de leur floraison et une présence de pucerons dans la parcelle.

## **B. La fiabilité de l'outil**

### **1. Comparaison au potentiel réel**

Afin d'évaluer la fiabilité de l'outil, les résultats du potentiel auxiliaire calculé sont comparés au nombre d'auxiliaires piégés dans la deuxième expérimentation. Les résultats de l'arbre DEXI, qui sont estimés, et les résultats réels des auxiliaires piégés, soulignent des différences quant aux performances des parcelles. Pour DEXI, les parcelles sont classées ainsi : P2A>BAL3F>BAL3NF, TPM1>SVL2A, P4EXT>P3C, du meilleur au plus faible potentiel. Lors de l'évaluation avec les pièges les parcelles étaient classées telles que : P2A>TPM1=BAL3F>BAL3NF, SVL2A>P4EXT>P3C.

On constate des similitudes dans ces classement, tout d'abord la parcelle présentant le meilleur potentiel auxiliaire est bien la parcelle qui a le plus d'insectes piégés, le P2A. Aussi, la parcelle avec le plus mauvais potentiel est celle avec le moins d'insectes piégés, le P3C ; les extrêmes conservent donc la même place. En revanche, on remarque des différences dans les situations intermédiaires. Le TPM1 présente une bonne quantité d'auxiliaires piégés, alors que son potentiel était considéré comme peu favorable, et se retrouve au même niveau que la parcelle BAL3F qui a un potentiel favorable. De plus, la BAL3NF, avec un potentiel peu favorable, est significativement différente du TPM1 mais pas de BAL3F. Les différences entre le potentiel modélisé et le potentiel réel pour ces 3 parcelles expliquent qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les niveaux peu favorable et favorable de l'outil. Tout d'abord, en comparant la parcelle BAL3 avec et sans aménagement, nous dirons que l'effet de la présence d'aménagements dans la parcelle est trop important dans le modèle comparé à l'effet réel sur la parcelle. Ce critère étant le seul justifiant la différence de potentiel auxiliaire entre la modalité fleurie et non fleurie. Par la suite, les meilleurs résultats du TPM1 peuvent s'expliquer par la présence de pucerons sur les cultures de rosiers ; la présence de proies dans la culture influence inévitablement et positivement la présence des auxiliaires. Ce paramètre n'est pas pris en compte dans le modèle.

L'effet de la présence de pucerons dans la parcelle doit aussi être considéré pour la P2A. On constate pour ces deux parcelles que, malgré la présence de pucerons, l'infestation pendant le piégeage est restée sous le seuil de nuisibilité et n'a causé aucun dégât sur la culture. En outre, après le retrait des pièges, la culture de P2A a été taillée et l'infestation de pucerons s'est terminée. Pour les rosiers en TPM1, l'infestation est également restée à un niveau modéré sous le seuil de nuisibilité. On peut donc convenir que les populations d'auxiliaires dans ces deux cas ont permis un contrôle efficace et suffisant dans ces cultures et que le potentiel auxiliaire peut donc être considéré comme bon.

Pour les parcelles de SVL2A et de P4ext, aucune différence n'était attendue, leur potentiel étant tous les deux défavorables. On notera tout de même un nombre plus important d'insectes piégés en SVL2A. Des éléments non pris en compte dans le modèle DEXI peuvent expliquer ce résultat. La parcelle de SVL2A est située à côté d'une bande de pieds-mères extérieurs et une partie de ceux-ci étaient fleuris au moment du piégeage, ayant alors un bon potentiel d'attraction pour les auxiliaires. Les pièges en P4ext étaient situés au milieu d'une parcelle





qui a subi une taille la semaine qui a précédé l'installation des pièges englués. Cette perturbation forte a donc pu avoir un effet direct sur la présence des auxiliaires en les chassant de la parcelle.

Se basant seulement sur ces résultats, la fiabilité de l'outil est observée mais sa sensibilité n'est pas confirmée.

## **2. Amélioration de l'outil**

Le nombre d'attributs basiques a dû être limité pour la réalisation de l'arbre. Cependant d'autres critères auraient pu être pris en compte. Pour le système de culture, des critères comme le mode de production, pouvant être hors-sol ou pleine terre, auraient pu être considérés. Aussi, la densité de la culture pourrait être un critère intéressant pour différencier les systèmes de production horticoles. La difficulté pour ce genre de critères est qu'ils n'ont pas de lien direct avec le potentiel auxiliaire ; ce lien peut ne pas encore avoir été établi. Ces critères peuvent cependant qualifier et représenter les différents types de systèmes de culture qui ont des influences complexes sur les populations auxiliaires. La transcription de ces effets ne peut pas se faire encore de façon linéaire et simple, peu de recherches évaluent l'influence des systèmes de culture horticoles sur les auxiliaires de culture (Aviron & al, 2016).

Comme il a été observé pour la pépinière, en fonction des systèmes de culture, on peut se questionner sur la distance choisie pour l'observation de l'environnement à grande échelle. En effet, bien que dans la littérature, et pour le cas de la grande culture, un rayon de 500 m autour des parcelles est pertinent au vu du déplacement des auxiliaires, en cultures horticoles, les obstacles rencontrés peuvent être plus nombreux. Les serres, hangars, passages enherbés ou enrobés sont des obstacles que l'on retrouve moins en grande culture. Ainsi, l'effet réel d'un aménagement positif à une distance de 500 m est réduit si les obstacles sont trop nombreux jusqu'à la parcelle.

Aussi, pour les aménagements au sein des cultures, afin d'améliorer ce qui a été observé dans la parcelle BAL3 avec et sans aménagements, il serait intéressant de préciser des caractéristiques sur ceux-ci afin d'avoir une meilleure interprétation de leurs effets réels. On pourrait ajouter des critères plus spécifiques aux aménagements pour en mesurer plus correctement les effets (le nombre de plantes de services, leur floraison, leur type, etc.). Cela permettrait également de diminuer le poids accordé à la simple présence des aménagements. Il est cependant intéressant, dans un contexte de sensibilisation pour la mise en place de la lutte biologique par conservation, que les aménagements agro-écologiques, dans le modèle DEXI, aient une forte influence sur le potentiel auxiliaire.

## **3. Nouveau dispositif à mettre en place**

Avant d'être proposé et utilisé, l'outil doit encore évoluer. Tout d'abord, sa sensibilisation a eu lieu avec les seules données de la pépinière. De ce fait, les conditions environnementales à grande échelle étaient équivalentes pour toutes les parcelles, cette partie du modèle ne peut donc pas être évaluée réellement avec les travaux menés. Ensuite, les systèmes de culture, bien que différents, sont tout de même proches, le type des plantes produites, leur format, la durée des cultures sont les mêmes. Pour l'élaboration de l'arbre DEXI-ARENA, les observations ont eu lieu sur 132 parcelles afin de valider le modèle ; sur notre échelle avec 7 parcelles, le nombre d'observations est trop faible pour pouvoir conclure. D'autres phases d'évaluation sont encore nécessaires pour la validation totale et la mise en usage de l'outil.

Une sensibilisation avec d'autres parcelles est nécessaire. Cette sensibilisation devra prendre en compte des systèmes de culture et des environnements différents. L'objectif est d'avoir, pour la majorité des attributs, chaque niveau d'évaluation représenté pour que tous les



scénarios possibles soient évalués par le modèle. Si cet objectif n'est pas atteint directement, il sera nécessaire d'identifier si les entrées des attributs basiques sont cohérentes avec les observations techniques. En effet, si toutes les parcelles ont une réponse commune à un attribut basique donné, alors il faut se questionner sur la pertinence de celui-ci. S'il n'est pas révélateur car similaire dans une majorité des entreprises de production horticole, alors sa présence ne serait pas utile. Il se peut aussi que sa description ne soit pas assez précise et ne tienne pas compte de l'échelle de variations du terrain qui peut être plus faible ou plus élevée que celle théorique identifiée dans la littérature. Il serait dans ce cas nécessaire d'établir un nouveau barème pour ces critères.

Les résultats pour chaque attribut agrégé devront donc présenter des notes variées dans l'ensemble de la gamme. Si certains résultats ne sont pas représentés, les fonctions déterminant les notes des attributs agrégés seront à revoir. Les poids de chaque attribut dans ces fonctions seront notamment à vérifier selon la pertinence réelle issue des observations. La difficulté de la définition de ces fonctions est d'intégrer l'interaction des attributs. En effet, si des éléments de littérature peuvent rendre compte de l'effet d'un critère mais pas forcément de son interaction avec d'autres, il est nécessaire d'agir par déduction et observation.

Pour confirmer cette nouvelle sensibilisation, il serait d'obligation de réaliser une phase de collecte de données. Cette phase pourra se faire par piégeage d'auxiliaire également. Afin d'avoir des données plus fiables et plus nombreuses, plusieurs méthodes de piégeage pourraient être utilisées, on peut éventuellement envisager l'aspiration qui permettrait de piéger une proportion plus importante des insectes présents dans la culture. Les phases d'observation pourront aussi se dérouler sur plusieurs périodes, la diversité culturelle empêche d'en déterminer une seule à risque face aux pucerons. De ce fait, il serait nécessaire de piéger les auxiliaires sur une pluralité de périodes où leur présence est attendue pour gérer les foyers de pucerons. On pense ici à un étalement de mars à novembre pour les Chrysanthèmes par exemple. L'évaluation de l'infestation, pour déterminer le potentiel auxiliaire est aussi important ; il permet de faire des conclusions sur l'action réelle des populations auxiliaires piégées.

Pour évaluer l'infestation des cultures, des questions se posent sur l'homogénéisation des observations. Toujours lié à la pluralité de cultures que l'on peut retrouver dans les systèmes horticoles, de nombreuses espèces de pucerons sont observables. Leur comptage se fait généralement par organes, sur un nombre de plants définis. Si l'on prend des systèmes de productions de jeunes plants ou de plants âgés d'une dizaine d'années, les protocoles ne peuvent pas se généraliser. En effet, le nombre de pousses par plants sera différent selon l'âge et la conduite du sujet, le nombre de plants par unité de surface aussi. Une solution serait alors d'évaluer par seuil d'infestation et que celui-ci soit défini pour chaque type de production.

Avec ces actions, le modèle sera plus fiable pour un plus grand nombre d'entreprises horticoles.

#### **4. Potentiel d'utilisation de l'outil**

La méthode de conception de systèmes innovants Novo se libère des contraintes de mise en place des systèmes. En imaginant les systèmes les plus performants selon divers objectifs, elle ne prend pas en compte les contraintes techniques ou économiques de la mise en place de ces systèmes. L'outil créé peut servir d'appui à la conception de nouveaux systèmes. En mettant en évidence les limites de celui-ci, il permet d'identifier les faiblesses de l'environnement ou du système de culture. Il est également possible de créer des scénarios afin d'anticiper des modifications spécifiques du système. Ainsi, l'outil pourrait être utilisé par les exploitants pour mettre en place la lutte biologique par conservation. Le temps estimé à l'utilisation de



l'outil pour créer différents scénarios peut en revanche s'avérer élevé, ceci peut être un découragement pour les agriculteurs. De plus, certaines données topographiques (pourcentage de surfaces boisées, linéaires de haies, etc.) nécessitent l'utilisation d'outils de SIG. Bien que certains critères soient retrouvés dans les déclarations de la PAC ou dans les audits de certification comme HVE, on ne peut pas considérer que la majorité des entreprises horticoles possèdent ces données. De plus, comme pour cette expérimentation, certaines données peuvent être manquantes. En effet, les relevés topographiques nationaux ne font pas la différence pour les surfaces agricoles entre les productions annuelles de grandes cultures ou les prairies et jachères.

## **VI. Conclusion**

Dans ce travail, la création d'un outil d'évaluation de la parcelle, de son environnement et de son système de culture, n'a pas encore permis de créer un système de culture innovant basé sur la lutte biologique par conservation. L'élaboration d'un outil de ce type requiert en effet des moyens élevés pour que l'on puisse le valider et s'y appuyer de façon fiable. Cependant, avec les premières ébauches d'évaluation, il s'avère que la conception d'un outil de ce type pour des cultures horticoles, notamment les pépinières, reste cohérent et exploitable. Aussi, l'expérimentation basée sur l'évaluation de la présence de plantes de services fleuries, bien que ne fournissant pas de résultats sur l'infestation et la régulation des pucerons par ses ennemis naturels, permet de confirmer qu'une méthode de lutte biologique par conservation au sein de la pépinière est possible. En effet, la culture est restée indemne, ce qui était l'objectif de ce travail, réussir à maintenir une culture saine sans usage de produits phytosanitaires. Bien que ce résultat puisse avoir différentes causes, grâce aux aménagements installés ou à la modification du système de culture via la date d'implantation de la culture, le système a été modifié cette année et a démontré des effets positifs par rapport aux années précédentes. Il est cependant délicat de généraliser avec cette seule observation. Pour autant, cette démarche encourage à continuer les recherches sur la modification des systèmes afin d'intégrer les principes et théories de la lutte biologique par conservation. De plus, la mise en place d'une lutte biologique par conservation se fait sur le long terme. Il serait alors intéressant de réaliser un essai système de ce type et basé sur une conception innovante grâce à l'outil DEXI.

## VII. Bibliographie

### Bibliographie

- Al Hassan, D., Parisey, N., Burel, F., Plantegenest, M., Kindlmann, P., Butet, A., 2013. Relationship between the abundance of aphids and their natural enemies in cereal fields and landscape composition. *Eur. J. Environ. Sci.* 2, 89–101. <https://doi.org/10.14712/23361964.2015.29>
- Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savani, I., Voltz, 2011. Pesticides, agriculture et environnement. Editions Quæ. <https://doi.org/10.3917/quae.exper.2011.01>
- AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides (No. 2013-SA-0138), 2014. . Anses.
- Barbosa, P., Benrey, B., 1998. THE INFLUENCE OF PLANTS ON INSECT PARASITOIDS: IMPLICATIONS FOR CONSERVATION BIOLOGICAL CONTROL.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18, 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Bertrand, C., n.d. L'hétérogénéité spatiale et temporelle des paysages agricoles influence les auxiliaires généralistes des cultures et le potentiel de contrôle biologique des ravageurs.
- Bessat, M., Castella, E., Speight, M.C.D., Fleury, D., Delabays, N., 2019. Biodiversité fonctionnelle en paysage agricole : étude floristique et syrphidologique de Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB). *BASE* 226–244. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.18236>
- Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H., Tscharntke, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Bockstaller, C., Lasserre-Joulin, F., Meiss, H., Sausse, C., Van Der Werf, H., Denoirjean, T., Ranjard, L., Angevin, F., Manneville, V., Michel, N., Tosser, V., Plantureux, S., 2019. Les indicateurs de biodiversité pour accompagner les agriculteurs : embarras du choix ou pénurie ? *Innovations Agronomiques* 75, 73-86. <https://doi.org/10.15454/BZMZZF>
- Burel, F., Garnier, E., Amiaud, B., Aulagnier, S., Butet, A., Chauvel, B., Carré, G., Cortet, J., Couvet, D., Joly, P., Lescouret, F., Plantureux, S., Sarthou, J.-P., Steinberg, C., Tichit, M., Vaissière, B., van Tuinen, D., Villenave, C., 2008. Chapitre 1. Les effets de l'agriculture sur la biodiversité.
- Caballero-López, B., Bommarco, R., Blanco-Moreno, J.M., Sans, F.X., Pujade-Villar, J., Rundlöf, M., Smith, H.G., 2012. Aphids and their natural enemies are differently affected by habitat features at local and landscape scales. *Biol. Control* 63, 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.03.012>
- Chantrel-Valat, D., Lavoisy, P., Pailloux, E., 2021. 14 INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ AGRICOLE pour les filières agro-alimentaires. NOÉ, Club AGATA.
- Chapin, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C., Díaz, S., 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234–242. <https://doi.org/10.1038/35012241>
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M.E., Blitzer, E.J., Kremen, C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity: Pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecol. Lett.* 14, 922–932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>
- Charles-Tollerup, 2012. Resource Provisioning as a Habitat Manipulation Tactic to Enhance the Aphid Parasitoid, *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae), and the Plant-Mediated Effects of a Systemic Insecticide, Imidacloprid.

- Cortez-Madriral, H., Gutiérrez-Cárdenas, O.G., 2023. Enhancing biological control: conservation of alternative hosts of natural enemies. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 33, 25. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00675-2>
- Costanza, R., Limburg, K., 1997. The value of the world's ecosystem. *Nature* 387, 253.
- Damien, M., 2018. Favoriser les ennemis naturels de ravageurs par la diversité végétale dans un contexte hivernal (These de doctorat). Université Rennes 1.
- DeLong, D.C., 1996. Defining Biodiversity. *Wildl. Soc. Bull.* 24, 738–749.
- Doehler, M., Chauvin, D., Le Ralec, A., Vanespen, É., Outreman, Y., 2023. Effect of the Landscape on Insect Pests and Associated Natural Enemies in Greenhouses Crops: The Strawberry Study Case. *Insects* 14, 302. <https://doi.org/10.3390/insects14030302>
- Duelli, P., 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agric. Ecosyst. Environ.* 62, 81–91. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01143-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01143-7)
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., Sarthou, J.P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Elton, C., 1927. *Animal Ecology*. The Macmillan Company.
- Fauvergue, X., Rusch, A., Barret, M., 2020. Biocontrôle, Éléments pour une protection agroécologique des cultures, Quae. ed.
- Foucault, B., 2019. Utilité et efficience des traitements.
- Gontijo, L.M., 2019. Engineering natural enemy shelters to enhance conservation biological control in field crops. *Biol. Control* 130, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.014>
- Graf, R., Markus, J., Chevillat, V., Weidmann, G., Hagist, D., Pfiffner, L., 2016. La biodiversité sur l'exploitation agricole. Guide pratique. 180.
- Gurr, G.M., Wratten, S.D., Barbosa, P., 2000. Success in Conservation Biological Control of Arthropods, in: Gurr, G., Wratten, S. (Eds.), *Biological Control: Measures of Success*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 105–132. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4014-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4014-0_4)
- Haenke, S., Kovács-Hostyánszki, A., Fründ, J., Batáry, P., Jauker, B., Tschardt, T., Holzschuh, A., 2014. Landscape configuration of crops and hedgerows drives local syrphid fly abundance. *J. Appl. Ecol.* 51, 505–513. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12221>
- Huffaker, C.B., 1958. Experimental studies on predation : dispersion factors and predatory-prey oscillations, Hilgardia.
- Hullé, M., Cœur d'Acier, A., Bankhead-Dronnet, S., Harrington, R., 2010. Aphids in the face of global changes. *C. R. Biol.* 333, 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.03.005>
- Karp, D.S., Chaplin-Kramer, R., Meehan, T.D., Martin, E.A., DeClerck, F., Grab, H., Gratton, C., Hunt, L., Larsen, A.E., Martínez-Salinas, A., O'Rourke, M.E., Rusch, A., Poveda, K., Jonsson, M., Rosenheim, J.A., Schellhorn, N.A., Tschardt, T., Wratten, S.D., Zhang, W., Iverson, A.L., Adler, L.S., Albrecht, M., Alignier, A., Angelella, G.M., Zubair Anjum, M., Avelino, J., Batáry, P., Baveco, J.M., Bianchi, F.J.J.A., Birkhofer, K., Bohnenblust, E.W., Bommarco, R., Brewer, M.J., Caballero-López, B., Carrière, Y., Carvalheiro, L.G., Cayuela, L., Centrella, M., Četković, A., Henri, D.C., Chabert, A., Costamagna, A.C., De La Mora, A., De Kraker, J., Desneux, N., Diehl, E., Diekötter, T., Dormann, C.F., Eckberg, J.O., Entling, M.H., Fiedler, D., Franck, P., Frank Van Veen, F.J., Frank, T., Gagic, V., Garratt, M.P.D., Getachew, A., Gonthier, D.J., Goodell, P.B., Graziosi, I., Groves, R.L., Gurr, G.M., Hajian-Forooshani, Z., Heimpel, G.E., Herrmann, J.D., Huseth, A.S., Inclán, D.J., Ingraio, A.J., Iv, P., Jacot, K., Johnson, G.A., Jones, L., Kaiser, M., Kaser, J.M., Keasar, T., Kim, T.N., Kishinevsky, M., Landis, D.A., Lavandero, B., Lavigne, C., Le Ralec, A., Lemessa, D., Letourneau, D.K., Liere, H., Lu, Y., Lubin, Y., Luttermoser, T., Maas, B., Mace, K., Madeira, F., Mader, V., Cortesero, A.M., Marini, L., Martinez, E., Martinson, H.M., Menozzi, P., Mitchell, M.G.E., Miyashita, T., Molina, G.A.R., Molina-Montenegro, M.A., O'Neal, M.E.,

- Opatovsky, I., Ortiz-Martinez, S., Nash, M., Östman, Ö., Ouin, A., Pak, D., Paredes, D., Parsa, S., Parry, H., Perez-Alvarez, R., Perović, D.J., Peterson, J.A., Petit, S., Philpott, S.M., Plantegenest, M., Plečaš, M., Pluess, T., Pons, X., Potts, S.G., Pywell, R.F., Ragsdale, D.W., Rand, T.A., Raymond, L., Ricci, B., Sargent, C., Sarthou, J.-P., Saulais, J., Schäckermann, J., Schmidt, N.P., Schneider, G., Schüepp, C., Sivakoff, F.S., Smith, H.G., Stack Whitney, K., Stutz, S., Szendrei, Z., Takada, M.B., Taki, H., Tamburini, G., Thomson, L.J., Tricault, Y., Tsafack, N., Tschumi, M., Valantin-Morison, M., Van Trinh, M., Van Der Werf, W., Vierling, K.T., Werling, B.P., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Woodcock, B.A., Wyckhuys, K., Xiao, H., Yasuda, M., Yoshioka, A., Zou, Y., 2018. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>
- Kindlmann, P., Dixon, A.F.G., Michaud, J.P. (Eds.), 2010. *Aphid Biodiversity under Environmental Change: Patterns and Processes*. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8601-3>
- Launais, M., Bzdrenga, L., Estorgues, V., Faloya, V., Jeannequin, B., Lheureux, S., Nivet, L., Scherrer, B., Sinoir, N., Szilvasi, S., Taussig, C., Terrentroy, A., Trottin-Caudal, Y., Villeneuve, F., 2014. *GUIDE PRATIQUE pour la conception de systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques*, Onema, GIS PICléG. ed. Ministère chargé de l'agriculture.
- Lavigne, C., Franck, P., Toubon, J.-F., Thomas, C., Bouvier, J.-C., Maugin, S., Olivares, J., 2014. *Paysages et régulations biologiques Impact de la structure paysagère sur les ravageurs et leurs ennemis naturels Conception de systèmes horticoles innovants*, 181.
- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.-P., Trommetter, M., 2012. *Agriculture et biodiversité*.
- Legendre, J.-C., 2023. *Bilan 2022, bulletin de santé du végétal Grand-Ouest*.
- Losey, J.E., Vaughan, M., 2006. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience* 56, 311. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)
- MacArthur, R., 1955. Fluctuations of Animal Populations and a Measure of Community Stability. *Ecology* 36, 533. <https://doi.org/10.2307/1929601>
- Mace, G.M., Norris, K., Fitter, A.H., 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol. Evol.* 27, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
- Marcon, E., 2018. *Mesures de la Biodiversité*.
- Mdellel, L., Halima Kamel, M.B., Assadi, B., 2015. Impact of winter pruning of pomegranate trees on *Aphis punicae* (Hemiptera, Aphididae) and its natural enemies in Tunisia. *Ann. Société Entomol. Fr. NS* 51, 266–271. <https://doi.org/10.1080/00379271.2015.1114425>
- Ndakidemi, B., Mtei, K., Ndakidemi, P.A., 2016. Impacts of Synthetic and Botanical Pesticides on Beneficial Insects. *Agric. Sci.* 07, 364–372. <https://doi.org/10.4236/as.2016.76038>
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., Poncet, C., 2012. Secondary plants used in biological control: A review. *Int. J. Pest Manag.* 58, 91–100. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.659229>
- Parrella, M.P., Lewis, E., 2017. Biological Control in Greenhouse and Nursery Production: Present Status and Future Directions. *Am. Entomol.* 63, 237–250. <https://doi.org/10.1093/ae/tmx010>
- Pimentel, D., 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics. *J. Agric. Environ. Ethics* 8, 17–29. <https://doi.org/10.1007/BF02286399>
- Porcher, E., Vermeersch, R.L., Billaud, O., Pinard, C., 2019. Observer pour comprendre les interactions de la biodiversité avec les pratiques agricoles: premiers résultats de l'Observatoire Agricole de la Biodiversité.
- Price, P.W., Bouton, C.E., Gross, P., McPherson, B.A., Thompson, J.N., Weis, A.E., 1980. Interactions Among Three Trophic Levels: Influence of Plants on Interactions Between Insect



- Herbivores and Natural Enemies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11, 41–65.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.000353>
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 273–303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Roschewitz, I., Hücker, M., Tschardt, T., Thies, C., 2005. The influence of landscape context and farming practices on parasitism of cereal aphids. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 218–227.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.02.005>
- Sarthou, J.P., Arndorfer, M., Bailey, D., Balázs, K., 2013. Indicateurs de biodiversité dans les exploitations agricoles biologiques et conventionnelles des Vallées et Coteaux de Gascogne, cas d'étude français du projet européen BIOBIO.
- Scarlato, M., Bao, L., Rossing, W.A.H., Dogliotti, S., Bertoni, P., Bianchi, F.J.J.A., 2023. Flowering plants in open tomato greenhouses enhance pest suppression in conventional systems and reveal resource saturation for natural enemies in organic systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 347, 108389. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108389>
- Schott, R., n.d. Capitalisation de connaissances opérationnelles utiles pour concevoir des systèmes agroécologiques, à partir d'expérimentations en conditions de production: le cas de l'utilisation des plantes de services pour la santé des plantes en horticulture.
- Swingland, I.R., 2013. Biodiversity, Definition of, in: *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier, pp. 399–410. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00009-5>
- Tosser, V., Barrier, A., Canard, E., Cerrutti, n., Chapelin-Viscardi, J.-D., Lasserre-Joulin, F., 2022. ARENA - Evaluation de la régulation naturelle des ravageurs en grandes cultures par les auxiliaires de cultures : réseau d'observations et construction de ressources pour intégrer ce service dans le raisonnement de la protection intégrée. *Innov. Agron.* 85, 17–30.
- Valette, E., Aznar, O., Hrabanski, M., Maury, C., Caron, A., Decamps, M., 2012. Émergence de la notion de service environnemental dans les politiques agricoles en France : l'ébauche d'un changement de paradigme? *Vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.12925>
- Van Emden, H.F., Williams, G.F., 1974. Insect Stability and Diversity in Agro-Ecosystems. *Annu. Rev. Entomol.* 19, 455–475. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.19.010174.002323>
- Winkler, K., Wäckers, F.L., Termorshuizen, A.J., Van Lenteren, J.C., 2010. Assessing risks and benefits of floral supplements in conservation biological control. *BioControl* 55, 719–727.  
<https://doi.org/10.1007/s10526-010-9296-8>
- Yakovleff, N., 2015. Évaluation de la fonctionnalité des corridors écologiques dans le bassin minier lensois par une approche multi-taxons.

# ANNEXES

# ANNEXE I

## SCRIPT R

```
## Définition des facteurs
Lieux<-as.factor(DATA$Lieux)
Potentiel<-as.factor(DATA$`Potentiel auxiliaire`)
Potentielauxiliaire<-factor(Potentiel,c("D","PD","PF","F","TF"))
levels(Potentielauxiliaire)
##Exploration des données
#Nombre d'auxiliaires total
par(mfrow=c(2,2))
# Boxplot
boxplot(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`,col='blue',ylab="Nombre d'auxiliaires total")
# Cleveland plot
dotchart(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`,pch=16,col='blue',xlab="Nombre d'auxiliaires
total")
# Histogram
hist(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`,col='blue',xlab="Nombre d'auxiliaires
total",main="")
# Quantile-Quantile plot
qqnorm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`,pch=16,col='blue',xlab="")
qqline(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`,col='red')
###Etude du facteur lieux
## Factor Lieux : nombre de niveaux et d'individus par niveaux
summary(Lieux)
par(mfrow=c(1,2))
plot(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`~ Lieux
,pch=16,col='blue',xlab="Lieux",ylab="Nombre d'auxiliaires total")
## Création des modèles Lieux
modBAL3F<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total`~DATA$Lieux,data=DATA)
drop1(modBAL3F,test="F")
summary(modBAL3F)

# Changement de baseline pour comparer (nouvelle analyse des coefficients) ou test posthoc
```

```
# Changer le niveau de Lieux : baseline BAL3NF
BAL3NF<-relevel(Lieux,ref="BAL3NF")
# Nouveau modèle BAL3NF
modBAL3NF<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ BAL3NF,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modBAL3NF)
# Changer le niveau de Lieux : baseline P2A
P2A<-relevel(Lieux,ref="P2A")
# Nouveau modèle BAL3NF
modP2A<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ P2A,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modP2A)
# Changer le niveau de Lieux : baseline P3C
P3C<-relevel(Lieux,ref="P3C")
# Nouveau modèle BAL3NF
modP3C<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ P3C,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modP3C)
# Changer le niveau de Lieux : baseline P4EXT
P4EXT<-relevel(Lieux,ref="P4EXT")
# Nouveau modèle BAL3NF
modP4EXT<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ P4EXT,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modP4EXT)
# Changer le niveau de Lieux : baseline SVL2A
SVL2A<-relevel(Lieux,ref="SVL2A")
# Nouveau modèle BAL3NF
modSVL2A<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ SVL2A,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modSVL2A)
# Changer le niveau de Lieux : baseline TPM1
TPM1<-relevel(Lieux,ref="TPM1")
```

```

# Nouveau modèle BAL3NF
modTPM1<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ TPM1,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modTPM1)
###Etude du facteur Potentiel
## Factor potentiel : nombre de niveaux et d'individus par niveaux
summary(Potentielauxiliaire)
plot(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ Potentielauxiliaire
.pch=16,col='blue',xlab="Potentiel auxiliaire",ylab="Nombre d'auxiliaires total")
## Création des modèles Potentiel
# Changer le niveau de Potentiel : baseline Défavorable
D<-relevel(Potentielauxiliaire,ref="D")
# Nouveau modèle BAL3NF
modD<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ D,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modD)
# Changer le niveau de Potentiel : baseline un peu défavorable
PD<-relevel(Potentielauxiliaire,ref="PD")
# Nouveau modèle BAL3NF
modPD<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ PD,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modPD)

# Changer le niveau de Potentiel : baseline peu favorable
PF<-relevel(Potentielauxiliaire,ref="PF")
# Nouveau modèle BAL3NF
modPF<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ PF,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modPF)
# Changer le niveau de Potentiel : baseline Favorable
F<-relevel(Potentielauxiliaire,ref="F")
# Nouveau modèle BAL3NF
modF<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ F,data=DATA)

```

```

# Coefficients of the model
summary(modF)
# Changer le niveau de Potentiel : baseline Très favorable
TF<-relevel(Potentielauxiliaire,ref="TF")
# Nouveau modèle BAL3NF
modTF<-lm(DATA$`Nombre d'auxiliaires total` ~ TF,data=DATA)
# Coefficients of the model
summary(modTF)
###Vérification des hypothèses :
## Nomalité des résidus
# Histogram
hist(modBAL3F$residuals,col='blue',xlab="residuals",main="Check Normality")
# Quantile-Quantile plot
qqnorm(modBAL3F$residuals,pch=16,col='blue',xlab="")
qqline(modBAL3F$residuals,col='red')
hist(modD$residuals,col='blue',xlab="residuals",main="Check Normality")
# Quantile-Quantile plot
qqnorm(modD$residuals,pch=16,col='blue',xlab="")
qqline(modD$residuals,col='red')
## Homogénéité des variances
plot(residuals(modBAL3F)~fitted(modBAL3F)
      , col='blue'
      , pch=16)
plot(residuals(modD)~fitted(modD)
      , col='blue'
      , pch=16)
## Indépendance
#Assume que c'est indépendant

```

## ANNEXE II

### Données brutes piégeages des auxiliaires

| Lieux  | Potentiel auxiliaire | Répétition | Nombre d'auxiliaires total | Hyménoptères | Staphylins | Syrphes |
|--------|----------------------|------------|----------------------------|--------------|------------|---------|
| BAL3F  | F                    | 1          | 12                         | 9            | 0          | 3       |
| BAL3F  | F                    | 2          | 16                         | 8            | 4          | 4       |
| BAL3F  | F                    | 3          | 11                         | 7            | 2          | 2       |
| BAL3F  | F                    | 4          | 12                         | 8            | 1          | 3       |
| BAL3NF | PF                   | 1          | 6                          | 3            | 2          | 1       |
| BAL3NF | PF                   | 2          | 12                         | 6            | 5          | 1       |
| BAL3NF | PF                   | 3          | 11                         | 5            | 3          | 3       |
| BAL3NF | PF                   | 4          | 10                         | 4            | 4          | 2       |
| TPM1   | PF                   | 1          | 12                         | 6            | 0          | 6       |
| TPM1   | PF                   | 2          | 12                         | 2            | 0          | 10      |
| TPM1   | PF                   | 3          | 17                         | 8            | 1          | 8       |
| TPM1   | PF                   | 4          | 17                         | 6            | 0          | 11      |
| P2A    | TF                   | 1          | 22                         | 14           | 3          | 5       |
| P2A    | TF                   | 2          | 19                         | 9            | 3          | 7       |
| P2A    | TF                   | 3          | 24                         | 11           | 5          | 8       |
| P2A    | TF                   | 4          | 23                         | 12           | 4          | 7       |
| P3C    | D                    | 1          | 3                          | 1            | 2          | 0       |
| P3C    | D                    | 2          | 6                          | 2            | 2          | 2       |
| P3C    | D                    | 3          | 6                          | 2            | 3          | 1       |
| P3C    | D                    | 4          | 2                          | 0            | 2          | 0       |
| P4EXT  | PD                   | 1          | 7                          | 6            | 1          | 0       |
| P4EXT  | PD                   | 2          | 7                          | 5            | 0          | 2       |
| P4EXT  | PD                   | 3          | 7                          | 3            | 0          | 4       |
| P4EXT  | PD                   | 4          | 4                          | 0            | 1          | 3       |
| SVL2A  | PD                   | 1          | 11                         | 2            | 1          | 8       |
| SVL2A  | PD                   | 2          | 7                          | 1            | 0          | 6       |
| SVL2A  | PD                   | 3          | 10                         | 3            | 2          | 5       |
| SVL2A  | PD                   | 4          | 7                          | 1            | 0          | 6       |

# ANNEXE III

## Résultats bruts DEXI

| Attribute  | Bal3NF  |
|--|---|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | peu favorable   |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | peu favorable   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | peu favorable   |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 d'és herbage chimique</b>                                 |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <b>defavorable</b>  |
| <b>Massifs</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Composition des massifs  | <b>Pas de massif</b>  |
| Entretien des massifs  | <b>Pas de massif ou plusieurs entretiens en automne et au printemps</b> |
| <b>Bandes enherbees et/ou fleuries</b>                               | <b>defavorable</b>  |
| Composition des bandes enherbees                                     | <b>pas de bandes enherbees</b>  |
| Modalites d'entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>  |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                                    |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable   |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>  |
| Forêts bois et bosquets  | <b>s&lt;5 %</b>   |
| Prairies et jachères   | <b>s&lt;10 %</b>  |
| Zones humides  | <b>s&lt;5 %</b>   |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable   |
| Surface de cultures annuelles  | <b>25&lt;s&lt;90 %</b>  |
| Surface culture pérennes   | <b>s&lt;5 %</b>   |
| Zones urbaines   | <b>s&lt;25 %</b>  |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbees dans un rayon de 500 m</b> | <b>tres favorable</b>   |
| Lineaires haies  | <b>Plus de 1km</b>  |
| Lineaires bandes enherbees   | <b>Entre 200m et 1km</b>  |
| <b>Systeme de culture</b>  | peu favorable   |
| <b>Culture</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Nombre de culture  | <b>1 espèce</b>   |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>   |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | peu favorable   |
| <b>Période de culture</b>  | peu favorable   |
| Date d'installation de la culture                                    | <b>Mai à Septembre</b>  |
| Durée de la culture  | <b>6 à 9 mois</b>   |
| Pincement de la culture  | <b>Seulement entre mai et septembre, 1 fois ou 0</b>                    |
| Déplacement de la culture  | <b>Entre septembre et mars</b>  |
| <b>Intrants</b>  | <b>defavorable</b>  |
| Type de protection insecticide                                       | <b>environ une application par an</b>                                   |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>   |
| <b>Infrastructures</b>   | peu favorable   |
| Taille des parcelles   | <b>de 1000 m² à 10 000ha</b>  |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | <b>tres favorable</b>   |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <b>tres favorable</b>   |
| Période d'ouverture  | <b>Sous abris avec ouverture de mars à octobre</b>                      |
| Position de l'ouverture  | <b>Plusieurs ouvertures (2 latérales, latéral et frontale..)</b>        |
| Orientation des serres   | <b>Nord-Sud</b>   |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                        |



| Attribute  | Bal3F   |
|--|---|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | <i>favorable</i>  |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | peu favorable   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | peu favorable   |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 désherbage chimique</b>                                   |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <b>défavorable</b>  |
| <b>Massifs</b>   | <b>défavorable</b>  |
| Composition des massifs  | <b>Pas de massif</b>  |
| Entretien des massifs  | <b>Pas de massif ou plusieurs entretiens en automne et au printemps</b> |
| <b>Bandes enherbées et/ou fleuries</b>                               | <b>défavorable</b>  |
| Composition des bandes enherbées                                     | <b>pas de bandes enherbées</b>  |
| Modalités d'entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>  |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                                    |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable   |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>défavorable</b>  |
| Forêts bois et bosquets  | <i>s &lt; 5 %</i>   |
| Prairies et jachères   | <i>s &lt; 10 %</i>  |
| Zones humides  | <i>s &lt; 5 %</i>   |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable   |
| Surface de cultures annuelles  | <i>25 &lt; s &lt; 90 %</i>  |
| Surface culture pérennes   | <i>s &lt; 5 %</i>   |
| Zones urbaines   | <i>s &lt; 25 %</i>  |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbées dans un rayon de 500 m</b> | <i>tres favorable</i>   |
| Lineaires haies  | <b>Plus de 1km</b>  |
| Lineaires bandes enherbées   | <b>Entre 200m et 1km</b>  |
| <b>Systeme de culture</b>  | <i>favorable</i>  |
| <b>Culture</b>   | <b>défavorable</b>  |
| Nombre de culture  | <b>1 espèce</b>   |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>   |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | peu favorable   |
| <b>Période de culture</b>  | peu favorable   |
| Date d'installation de la culture                                    | Mai à Septembre   |
| Durée de la culture  | <i>6 à 9 mois</i>   |
| Pincement de la culture  | <i>Seulement entre mai et septembre, 1 fois ou 0</i>                    |
| Déplacement de la culture  | Entre septembre et mars   |
| <b>Intrants</b>  | <b>défavorable</b>  |
| Type de protection insecticide                                       | environ une application par an  |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minérale</b>   |
| <b>Infrastructures</b>   | <i>tres favorable</i>   |
| Taille des parcelles   | <b>de 1000 m<sup>2</sup> à 10 000ha</b>                                 |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | <i>tres favorable</i>   |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <i>tres favorable</i>   |
| Période d'ouverture  | <i>Sous abris avec ouverture de mars à octobre</i>                      |
| Position de l'ouverture  | <i>Plusieurs ouvertures (2 latérales, latéral et frontale..)</i>        |
| Orientation des serres   | <i>Nord-Sud</i>   |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <i>Installation durant la saison de culture</i>                         |

| Attribute  | P2A  |
|--|--|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | <i>tres favorable</i>  |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | <i>favorable</i>   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | <i>tres favorable</i>  |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 désherbage chimique</b>                            |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <i>favorable</i>   |
| <b>Massifs</b>   | <i>tres favorable</i>  |
| Composition des massifs  | <i>Deux strats (une fleurie)</i>                                 |
| Entretien des massifs  | <i>Pas d'entretiens</i>  |
| <b>Bandes enherbees et/ou fleuries</b>                               | <b>defavorable</b>   |
| Composition des bandes enherbees                                     | <b>pas de bandes enherbees</b>                                   |
| Modalites d entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>                                   |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                             |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable  |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>   |
| Forets bois et bosquets  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Prairies et jacheres   | <i>s&lt;10 %</i>   |
| Zones humides  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable  |
| Surface de cultures annuelles  | <i>s&gt; 90 %</i>  |
| Surface culture pérennes   | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Zones urbaines   | <i>s&lt;25 %</i>   |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbees dans un rayon de 500 m</b> | <i>tres favorable</i>  |
| Lineaires haies  | <i>Plus de 1km</i>   |
| Lineaires bandes enherbees   | <i>Entre 200m et 1km</i>   |
| <b>Systeme de culture</b>  | <i>tres favorable</i>  |
| <b>Culture</b>   | peu favorable  |
| Nombre de culture  | <i>4 à 7 espèces</i>   |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>  |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | <i>favorable</i>   |
| <b>Période de culture</b>  | peu favorable  |
| Date d'installation de la culture                                    | <i>Mai à Septembre</i>   |
| Durée de la culture  | <i>6 à 9 mois</i>  |
| Pincement de la culture  | <i>Seulement entre mai et septembre, 1 fois ou 0</i>             |
| Déplacement de la culture  | <i>Entre septembre et mars</i>                                   |
| <b>Intrants</b>  | peu favorable  |
| Type de protection insecticide                                       | <i>pas d application</i>   |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>                                    |
| <b>Infrastructures</b>   | <i>favorable</i>   |
| Taille des parcelles   | <i>de 500 m<sup>2</sup> à 1000 m<sup>2</sup></i>                 |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | <i>tres favorable</i>  |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <i>tres favorable</i>  |
| Période d'ouverture  | <i>Sous abris avec ouverture de mars à octobre</i>               |
| Position de l'ouverture  | <i>Plusieurs ouvertures (2 latérales, latéral et frontale..)</i> |
| Orientation des serres   | <i>Nord-Sud</i>  |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                 |

| Attribute  | P3C   |
|--|---|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | <b>defavorable</b>  |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | peu favorable   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | peu favorable   |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 désherbage chimique</b>                                   |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <b>defavorable</b>  |
| <b>Massifs</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Composition des massifs  | <b>Pas de massif</b>  |
| Entretien des massifs  | <b>Pas de massif ou plusieurs entretiens en automne et au printemps</b> |
| <b>Bandes enherbées et/ou fleuries</b>                               | <b>defavorable</b>  |
| Composition des bandes enherbées                                     | <b>pas de bandes enherbées</b>  |
| Modalités d'entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>  |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                                    |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable   |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>  |
| Forêts bois et bosquets  | <b>s&lt;5 %</b>   |
| Prairies et jachères   | <b>s&lt;10 %</b>  |
| Zones humides  | <b>s&lt;5 %</b>   |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable   |
| Surface de cultures annuelles  | <b>s&gt; 90 %</b>   |
| Surface culture pérennes   | <b>s&lt;5 %</b>   |
| Zones urbaines   | <b>s&lt;25 %</b>  |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbées dans un rayon de 500 m</b> | <b>tres favorable</b>   |
| Lineaires haies  | <b>Plus de 1km</b>  |
| Lineaires bandes enherbées   | <b>Entre 200m et 1km</b>  |
| <b>Systeme de culture</b>  | <b>tres defavorable</b>   |
| <b>Culture</b>   | peu favorable   |
| Nombre de culture  | <b>4 à 7 espèces</b>  |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>   |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | <b>defavorable</b>  |
| <b>Période de culture</b>  | peu favorable   |
| Date d'installation de la culture                                    | Mai à Septembre   |
| Durée de la culture  | <b>6 à 9 mois</b>   |
| Pincement de la culture  | <b>Toute l'année. 2 à 3 fois</b>  |
| Déplacement de la culture  | Entre septembre et mars   |
| <b>Intrants</b>  | peu favorable   |
| Type de protection insecticide                                       | <b>pas d'application</b>  |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>   |
| <b>Infrastructures</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Taille des parcelles   | de 500 m <sup>2</sup> à 1000 m <sup>2</sup>                             |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | peu favorable   |
| <b>Ouverture des serres</b>  | peu favorable   |
| Période d'ouverture  | <b>Sous abris avec ouverture de mars à octobre</b>                      |
| Position de l'ouverture  | Ouverture s frontales uniquement  |
| Orientation des serres   | <b>Nord-Sud</b>   |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                        |

| Attribute  | SVL2A  |
|--|--|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | un peu defavorable   |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | <i>favorable</i>   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | <i>tres favorable</i>  |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 désherbage chimique</b>                            |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <i>favorable</i>   |
| <b>Massifs</b>   | <i>tres favorable</i>  |
| Composition des massifs  | <i>Deux strats (une fleurie)</i>                                 |
| Entretien des massifs  | <i>Pas d'entretiens</i>  |
| <b>Bandes enherbees et/ou fleuries</b>                               | <b>defavorable</b>   |
| Composition des bandes enherbees                                     | <b>pas de bandes enherbees</b>                                   |
| Modalites d entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>                                   |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                             |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable  |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>   |
| Forets bois et bosquets  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Prairies et jacheres   | <i>s&lt;10 %</i>   |
| Zones humides  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable  |
| Surface de cultures annuelles  | <i>s&gt; 90 %</i>  |
| Surface culture pérennes   | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Zones urbaines   | <i>s&lt;25 %</i>   |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbees dans un rayon de 500 m</b> | <i>tres favorable</i>  |
| Lineaires haies  | <i>Plus de 1km</i>   |
| Lineaires bandes enherbees   | <i>Entre 200m et 1km</i>   |
| <b>Systeme de culture</b>  | <b>defavorable</b>   |
| <b>Culture</b>   | peu favorable  |
| Nombre de culture  | <i>4 à 7 espèces</i>   |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>  |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | <b>defavorable</b>   |
| <b>Période de culture</b>  | peu favorable  |
| Date d'installation de la culture                                    | <b>Janvier à mai</b>   |
| Durée de la culture  | <i>6 à 9 mois</i>  |
| Pincement de la culture  | <b>Toute l'année. 2 à 3 fois</b>                                 |
| Déplacement de la culture  | Entre septembre et mars  |
| <b>Intrants</b>  | <b>defavorable</b>   |
| Type de protection insecticide                                       | environ une application par an                                   |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>                                    |
| <b>Infrastructures</b>   | peu favorable  |
| Taille des parcelles   | <b>de 1000 m<sup>2</sup> à 10 000ha</b>                          |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | <i>tres favorable</i>  |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <i>tres favorable</i>  |
| Période d'ouverture  | <i>Sous abris avec ouverture de mars à octobre</i>               |
| Position de l'ouverture  | <i>Plusieurs ouvertures (2 latérales, latéral et frontale..)</i> |
| Orientation des serres   | <i>Nord-Sud</i>  |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                 |

| Attribute  | TPM1  |
|--|---|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | peu favorable   |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | <i>favorable</i>  |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | <i>favorable</i>  |
| Entretien des bordures   | <i>Désherbage sans chimique</i>   |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | peu favorable   |
| <b>Massifs</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Composition des massifs  | <b>Pas de massif</b>  |
| Entretien des massifs  | <b>Pas de massif ou plusieurs entretiens en automne et au printemps</b> |
| <b>Bandes enherbees et/ou fleuries</b>                               | peu favorable   |
| Composition des bandes enherbees                                     | BH composees majoritairement de graminees                               |
| Modalites d'entretien  | broyage precoce (avant floraison)                                       |
| Importance des bandes  | 1 a 2 bandes autour de la parcelle                                      |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable   |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>  |
| Forets bois et bosquets  | <i>s&lt;5 %</i>   |
| Prairies et jacheres   | <i>s&lt;10 %</i>  |
| Zones humides  | <i>s&lt;5 %</i>   |
| <b>Surfaces des zones artificialisees 500m</b>                       | peu favorable   |
| Surface de cultures annuelles  | <i>s&gt; 90 %</i>   |
| Surface culture perennes   | <i>s&lt;5 %</i>   |
| Zones urbaines   | <i>s&lt;25 %</i>  |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbees dans un rayon de 500 m</b> | <i>tres favorable</i>   |
| Lineaires haies  | <i>Plus de 1km</i>  |
| Lineaires bandes enherbees   | <i>Plus de 1km</i>  |
| <b>Systeme de culture</b>  | peu favorable   |
| <b>Culture</b>   | <i>favorable</i>  |
| Nombre de culture  | <i>4 à 7 espèces</i>  |
| Floraison des cultures   | <i>Floraison de mars à octobre</i>                                      |
| <b>Itineraire de culture</b>   | peu favorable   |
| <b>Période de culture</b>  | <i>favorable</i>  |
| Date d'installation de la culture                                    | <i>Octobre à Décembre</i>   |
| Durée de la culture  | <i>Plus d'un an</i>   |
| Pincement de la culture  | Entre octobre et mars, 2 fois   |
| Déplacement de la culture  | <i>Seulement entre mai et septembre</i>                                 |
| <b>Intrants</b>  | <b>defavorable</b>  |
| Type de protection insecticide                                       | environ une application par an  |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>   |
| <b>Infrastructures</b>   | <b>defavorable</b>  |
| Taille des parcelles   | de 500 m <sup>2</sup> à 1000 m <sup>2</sup>                             |
| <b>Caracteristiques des parcelles</b>                                | <b>defavorable</b>  |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <b>defavorable</b>  |
| Période d'ouverture  | <b>Toujours sous abris fermé</b>  |
| Position de l'ouverture  | <i>1 ouverture latérale</i>   |
| Orientation des serres   | <i>Nord-Sud</i>   |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                        |

| Attribute  | P4EXT  |
|--|--|
| <b>Potentiel Auxiliaires</b>   | un peu defavorable   |
| <b>La parcelle et son environnement</b>                              | <i>favorable</i>   |
| <b>Bords de parcelles (100m)</b>                                     | <i>tres favorable</i>  |
| Entretien des bordures   | <b>Au moins 1 désherbage chimique</b>                            |
| <b>Bordures végétalisées</b>   | <i>favorable</i>   |
| <b>Massifs</b>   | <i>tres favorable</i>  |
| Composition des massifs  | <i>Deux strats (une fleurie)</i>                                 |
| Entretien des massifs  | <i>Pas d'entretiens</i>  |
| <b>Bandes enherbees et/ou fleuries</b>                               | <b>defavorable</b>   |
| Composition des bandes enherbees                                     | <b>pas de bandes enherbees</b>                                   |
| Modalites d entretien  | <b>labour ou absence de BH</b>                                   |
| Importance des bandes  | <b>0 bande autour de la parcelle</b>                             |
| <b>Paysage autour de la parcelle (rayon 500 m)</b>                   | peu favorable  |
| <b>Surface des zones naturelles 500 m</b>                            | <b>defavorable</b>   |
| Forêts bois et bosquets  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Prairies et jacheres   | <i>s&lt;10 %</i>   |
| Zones humides  | <i>s&lt;5 %</i>  |
| <b>Surfaces des zones artificialisées 500m</b>                       | peu favorable  |
| Surface de cultures annuelles  | <i>s&gt; 90 %</i>  |
| Surface culture pérennes   | <i>s&lt;5 %</i>  |
| Zones urbaines   | <i>s&lt;25 %</i>   |
| <b>Lineaires haies et de bandes enherbees dans un rayon de 500 m</b> | <i>tres favorable</i>  |
| Lineaires haies  | <i>Plus de 1km</i>   |
| Lineaires bandes enherbees   | <i>Entre 200m et 1km</i>   |
| <b>Systeme de culture</b>  | <b>defavorable</b>   |
| <b>Culture</b>   | peu favorable  |
| Nombre de culture  | <i>4 à 7 espèces</i>   |
| Floraison des cultures   | <b>Pas de floraison</b>  |
| <b>Itinéraire de culture</b>   | <b>defavorable</b>   |
| <b>Période de culture</b>  | <b>defavorable</b>   |
| Date d'installation de la culture                                    | <b>Janvier à mai</b>   |
| Durée de la culture  | <b>- de 6 mois</b>   |
| Pincement de la culture  | <b>Toute l'année. 2 à 3 fois</b>                                 |
| Déplacement de la culture  | Entre septembre et mars  |
| <b>Intrants</b>  | peu favorable  |
| Type de protection insecticide                                       | <i>pas d application</i>   |
| Type de fertilisation  | <b>fertilisation minerale</b>                                    |
| <b>Infrastructures</b>   | peu favorable  |
| Taille des parcelles   | <b>de 1000 m<sup>2</sup> à 10 000ha</b>                          |
| <b>Caractéristiques des parcelles</b>                                | <i>tres favorable</i>  |
| <b>Ouverture des serres</b>  | <i>tres favorable</i>  |
| Période d'ouverture  | <i>Extérieur toute l'année</i>                                   |
| Position de l'ouverture  | <i>Plusieurs ouvertures (2 latérales, latéral et frontale..)</i> |
| Orientation des serres   | <i>Nord-Sud</i>  |
| Aménagements intra-parcellaires                                      | <b>Pas d'aménagements au sein de la parcelle</b>                 |



|   |  |
|---|--|
|    | Diplôme : Ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)<br>Spécialité : Horticulture<br>Spécialisation / option : PPEH-Protection des Plantes et de l'Environnement en Horticulture<br>Enseignant référent : Laurent Crespel |
| Auteur(s) : Elodie Latorre  | Organisme d'accueil : Pépinières du Bocage   |
| Date de naissance : 07/07/2000  | Adresse : Malatrait, 85700 Sèvremont   |
| Nb pages : 86                      Annexe(s) : 3  | Maître de stage : Clément Morille  |
| Année de soutenance : 2023  |  |
| Titre français : Outil de conception de systèmes de cultures innovants écologiquement pour la lutte biologique par conservation en pépinière ornementale  |  |
| Titre anglais : Tool for designing ecologically innovative cropping systems for conservation biological control in ornamental nurseries   |  |
| Résumé (1600 caractères maximum) : Afin de mettre en place une lutte biologique par conservation efficace, il est nécessaire de comprendre et de s'adapter à la biodiversité spécifique de son système de production et de son environnement. Des outils, composé d'indicateurs traduisant le niveau de biodiversité, ont été conçu pour les systèmes en grandes cultures. Ce travail évalue donc cette méthode de conception de systèmes innovants pour les entreprises horticoles. En s'appuyant sur l'outil existant DEXI-ARENA et en concevant l'évaluation du système de culture grâce à la littérature, l'outil DEXI-PEPI a été mis au point. En évaluant l'environnement de la parcelle cultivé et son mode de production, il permet d'évaluer le potentiel auxiliaire de la parcelle. Une première phase de test de l'outil a été élaborée avec le piégeage des auxiliaires dans 7 parcelles et sa comparaison avec le potentiel estimé. Bien que les résultats obtenus ont été corrélés, l'évaluation d'un tel outil et son perfectionnement pour correspondre aux effets réels du terrain nécessite beaucoup plus d'observations. Il semble donc pertinent d'utiliser ce genre d'outil en horticulture pour la mise en place de la lutte biologique par conservation. En revanche des travaux de grandes envergures sont encore nécessaires, de nombreuses données sont manquantes pour la compréhension de l'influence des systèmes horticoles sur les auxiliaires qui serviraient également à perfectionner cet outil.. |  |
| Abstract (1600 caractères maximum) : To implement effective conservation biological control, you need to understand and adapt to the specific biodiversity of your production system and environment. Tools have been designed for field crop systems, with indicators reflecting the level of biodiversity. This work therefore evaluates this method of designing innovative systems for horticultural businesses. Building on the existing DEXI-ARENA tool, and designing the cropping system assessment using the literature, the DEXI-PEPI tool was developed. By evaluating the environment of the cultivated plot and its production method, it enables the auxiliary potential of the plot to be assessed. The tool was first tested by trapping beneficials in 7 plots and comparing them with the estimated potential. Although the results obtained were correlated, the evaluation of such a tool and its refinement to match real field effects requires much more observation. It therefore seems appropriate to use this kind of tool in horticulture for the implementation of conservation biological control. On the other hand, a great deal of work is still needed to understand the influence of horticultural systems on beneficials, which would also be useful in perfecting this tool.  |  |
| Mots-clés : lutte biologique par conservation, conception de systèmes, horticulture ornementale   |  |
| Key Words: conservation pest management, system design, ornamental horticulture   |  |