

## Mémoire de stage

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement  
Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

**Analyse de la biodiversité taxonomique et fonctionnelle de la faune  
auxiliaire dans des systèmes viticoles agroécologiques présentant un  
gradient de diversification**



Par

**Lou TABARY**

**Ecole de rattachement : Montpellier Supagro**

### Stage réalisé à :

L'UMR ABSys, INRAe de Montpellier  
L'Institut Agro - Montpellier SupAgro  
2 place Pierre Viala  
34060 Montpellier Cedex 2

### Sous la Direction de :

Mr Raphaël Métral (Encadrant principal)  
Mme Elena Kazakou (Co-encadrante)  
Mme Marie-Stéphane Tixier (Co-encadrante)

Soutenu le **22 septembre 2021** à **Montpellier**, devant le jury composé de :

**Présidente :** Anne Le Ralec

**Membres :** Manu Plantegenest  
Antoine Gardarin



**Mémoire de stage**

**Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement  
Protection des Plantes et Environnement**

**Sur le thème**

**Analyse de la biodiversité taxonomique et fonctionnelle de la faune  
auxiliaire dans des systèmes viticoles agroécologiques présentant un  
gradient de diversification**

**Par**

**Lou TABARY**

**Ecole de rattachement : Montpellier Supagro**

**Stage réalisé à :**

l'UMR ABSys, INRAE de Montpellier  
L'Institut Agro - Montpellier SupAgro  
2 place Pierre Viala  
34060 Montpellier Cedex 2

**Sous la Direction de :**

Mr Raphaël Métral (Encadrant principal)  
Mme Elena Kazakou (Co-encadrante)  
Mme Marie-Stéphane Tixier (Co-encadrante)

Soutenu le **22 septembre 2021** à **Montpellier**, devant le jury composé de :

**Présidente :** Anne Le Ralec

**Membres :** Manu Plantegenest  
Antoine Gardarin



---

## Engagement de non plagiat

---

### ✓ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

### ✓ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

### ✓ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

Engagement :

Je soussignée, Lou TABARY  
Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat  
A Montpellier le 03/09/2021

Signature :





## Fiche de confidentialité et d'autorisation de diffusion du mémoire

### Confidentialité

Non  Oui si oui :  1 an  5 ans  10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible <sup>(1)</sup>.

Date et signature du maître de stage <sup>(2)</sup> :  
(ou de l'étudiant-entrepreneur)



**A la fin de la période de confidentialité**, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

### Droits d'auteur

L'auteur <sup>(3)</sup> Nom Prénom Tabary Lou

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si oui, il autorise

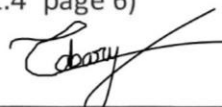
la diffusion papier du mémoire uniquement <sup>(4)</sup>

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif)  accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : 05/09/2021



### Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement <sup>(4)</sup>

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

2) Signature et cachet de l'organisme

3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera inscrite dans les bases de données documentaires sans le résumé





## Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation et au bon déroulé de mon stage de fin d'étude et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Tout d'abord, j'aimerais remercier mes encadrants pendant ces 6 mois de stage :

- Monsieur **Raphaël METRAL**, Agronome chargé de projets Recherche-Expérimentations à Montpellier SupAgro pour son accueil, son écoute et le partage de son expérience dans ce milieu professionnel.
- Madame **Elena KAZAKOU**, Enseignante-chercheuse à Montpellier SupAgro et membre du CEFÉ, pour sa confiance, son aide précieuse, la transmission de son savoir-faire et ses nombreux conseils tout au long de ce stage.
- Madame **Marie-Stéphane TIXIER**, Enseignante-chercheuse et directrice du département d'enseignement et de recherche "Biologie et Ecologie" à Montpellier SupAgro, pour son soutien depuis quelques années maintenant, le partage de ses connaissances, sa disponibilité et ses conseils précieux pour la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également **Anne LE RALEC**, Maître de conférences et chercheuse à Agrocampus Ouest, qui m'a tutorée dans le cadre de ce stage.

Je tiens à remercier **Yvan BOUISSON** et **Clément ENARD**, Techniciens à l'INRAe (UMR ABSys), pour leur aide pendant les expérimentations, leur bonne humeur et le partage de leur passion et expertise en viticulture.

Un grand merci à **Alexis SAINTILAN**, Entomologiste de l'entreprise Arachne pour sa disponibilité et son aide pour la détermination des insectes.

Je souhaite aussi remercier tous les stagiaires avec qui j'ai eu l'occasion de travailler, notamment la salle 119, pour l'entraide, le soutien, et les pauses café. Enfin, merci à Rémi, pour les statistiques, bien sûr, et le reste, aussi.



# Sommaire

Introduction.....	1
I- Synthèse bibliographique .....	2
A) La biodiversité dans le domaine de l'agriculture.....	2
B) La biodiversité végétale : un facteur favorisant la présence d'auxiliaires et le contrôle des ravageurs .....	4
C) La biodiversité en viticulture.....	7
D) Les hypothèses de l'étude .....	8
II- Matériels et méthodes .....	9
A) Le dispositif du projet SALSA à Montpellier.....	9
B) Caractérisation de la biodiversité de l'entomofaune .....	10
C) Caractérisation des couverts (2021) .....	12
D) Analyses statistiques .....	13
III- Résultats.....	16
A) Effet du type d'échantillonnage .....	16
B) Effet des systèmes de culture sur la faune auxiliaire .....	16
C) Effet du climat sur la faune auxiliaire .....	17
D) Effet du couvert sur la faune auxiliaire .....	18
IV- Discussion .....	19
A) Effet de la diversification végétale sur la biodiversité des auxiliaires après 2 ans .....	19
B) Les limites de l'étude : Méthode d'échantillonnage, niveau d'identification de la faune auxiliaire.....	23
V- Conclusion et perspectives .....	24
A) Conclusion .....	24
B) Perspectives.....	24
Références bibliographiques.....	26
Annexes.....	34



## Glossaire

**Agroécosystème** : Un écosystème modifié par l'homme et cultivé, dont les fonctions écosystémiques sont valorisées (productions agricoles et services écosystémiques).

**Agroforesterie** : Association sur une même parcelle d'arbres et d'une culture ou de l'élevage afin d'améliorer les services écosystémiques.

**Entomofaune** : Désigne la totalité de la population d'insectes présents dans un milieu. Ici, l'entomofaune désignera aussi les populations d'araignées pour plus de simplicité.

**Guilde** : Ensemble d'espèces appartenant à un même groupe fonctionnel ou taxonomique et qui consomment des ressources alimentaires communes, partageant ainsi la même niche écologique.

**Inflorescence** : Ensemble de fleurs voisines les unes des autres ou séparées seulement entre elle par des bractées.

**Prédation intraguilde** : Interaction biologique entre deux espèces d'une même guilde, c'est à dire une espèce qui va prédateur une autre espèce qui consomme des ressources similaires aux siennes.

**Principe de parcimonie** : consiste à limiter le nombre de paramètres intégrés dans le modèle pour conserver un degré de liberté suffisant.

**Système de culture** : Correspond à l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière similaire. Tout système est défini par la nature des cultures et leur rotation dans le temps, et les itinéraires techniques appliqués à ces dernières.



## **Liste des abréviations**

**ACP** : Analyse en composantes principales

**Anova** : Analyse de la variance

**NMDS** : Non-metric multidimensional scaling

**SAU** : Surface Agricole Utile

**IFT** : Indice de Fréquence de Traitements





## Introduction

La biodiversité désigne les variations de formes de vie sur Terre à plusieurs échelles : gènes, espèces, communautés, écosystèmes... Ce terme, qui apparaît dans les années 80, gagne en sens politique suite au Sommet de la Terre de Rio en 1992 qui établit un objectif commun de conservation de la biodiversité (Organisation des Nations Unies, 1993). Cette dernière fournit entre autres des services écosystémiques, c'est à dire des bénéfices que les humains peuvent tirer des écosystèmes, évalués entre 2,9 et 33 milliards de dollars par an (Costanza et al., 1997 ; Pimentel et al., 1997 ; Garbach et al., 2014). En 2020 en France, la Surface Agricole Utile représentait 50% de la surface sur le territoire français (Agreste, 2021). Cette surface importante façonne les paysages et les écosystèmes et rend la biodiversité et l'agriculture indissociables (Le Roux et al., 2008). La deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle marque par ailleurs un tournant dans le domaine de l'agriculture avec une intensification de la productivité agricole de par l'utilisation massive d'intrants (produits phytosanitaires, fertilisation) et la simplification des systèmes de culture, qui mettent alors en danger la biodiversité à plusieurs échelles (Le Roux et al., 2008).

Les « auxiliaires des cultures » ou faune auxiliaire sont des organismes vivants qui fournissent des services écosystémiques (contrôle des ravageurs, pollinisation) et améliorent la production agricole (Joseph et al., 2018). La disparition de ces derniers est à l'origine de déséquilibres dans les réseaux trophiques avec des pullulations de certains ravageurs de culture (Zhang et al., 2007 ; Rusch et al., 2016 ; Raven et Wagner, 2021 ; Sánchez-Bayo, 2021). Outre la disparition de ces auxiliaires, on observe aussi un déclin de la biodiversité floristique, les cultures hébergeant globalement moins d'espèces qu'il y a 30 ans et à plus faible densité (Fried et al., 2008). L'utilisation de produits phytosanitaires provoque enfin certains problèmes de santé chez les agriculteurs (cancers, tumeurs, troubles cognitifs et de fertilité) (INSERM, 2013). Cette intensification est ainsi à l'origine de problèmes sociétaux, économiques et environnementaux et des alternatives sont nécessaires pour réduire drastiquement l'utilisation de produits phytosanitaires et conserver la biodiversité.

C'est ainsi qu'est né en France le plan Ecophyto à la suite du Grenelle de l'environnement en 2008, afin de réduire le recours, les risques et les impacts des produits phytosanitaires (Chambres d'agriculture, 2021). Plusieurs actions ont été mises en œuvre sur toutes les filières agricoles : les réseaux DEPHY (Ferme, Expe), Certiphyto, les bulletins de santé du végétal (BSV) (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2021) ... La viticulture, une culture pérenne, pourrait théoriquement offrir des habitats naturels variés, stables et attractifs pour de nombreuses espèces d'auxiliaires (Kehinde et Samways, 2014 ; Shields et al., 2016). De ce fait, les vignobles peuvent contribuer à la conservation de la biodiversité et des services associés. En France néanmoins, la viticulture représente seulement 4% de la SAU (Surface Agricole Utile) française mais est responsable de 20% de la consommation de produits phytosanitaires (Aubertot et al., 2005 ; Agreste, 2021). Dans cette filière, la recherche d'alternatives à l'utilisation de pesticides pour restaurer la biodiversité est un enjeu de taille.



C'est dans ce contexte qu'est né le projet DEPHY expé SALSA en viticulture dans lequel s'inscrit mon stage. Lancé en 2018, ce projet s'intègre dans une approche agroécologique et vise une réduction de 80 à 100% de l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires) de référence. Le projet est constitué de trois dispositifs expérimentaux à Bordeaux, Colmar et Montpellier, afin d'étudier des systèmes dans des conditions pédoclimatiques différentes. Mon stage se concentre sur le dispositif mis en place en 2019 au domaine du chapitre de Villeneuve-lès-Maguelone (Hérault). Trois systèmes sont étudiés, selon un gradient de diversification : **(1)** un système témoin conduit en conventionnel, **(2)** Un système qui propose un premier degré de diversification avec l'utilisation d'un cépage résistant au mildiou et à l'oïdium et la présence de couverts végétaux semés dans les interrangs et **(3)** un système similaire au second qui propose un degré de diversification plus important avec un aspect agroforestier (présence d'arbres fruitiers au milieu des vignes). Dans le cadre de mon stage, nous avons cherché à étudier si le gradient de diversification mis en place influençait la diversité de la faune auxiliaire en : **(1)** évaluant l'évolution des systèmes depuis leurs mise en place en 2019 **(2)** évaluant la diversité observée sur la dernière année 2021. Nous avons ensuite étudié le rôle de deux facteurs pouvant expliquer les variations de biodiversité de la faune auxiliaire : les conditions climatiques et la biodiversité fonctionnelle des couverts végétaux dans les interrangs suite à une première caractérisation des couverts en 2021. Dans un premier temps, le contexte scientifique sera détaillé, puis le matériel et les méthodes mises en place pour répondre aux hypothèses. Nous détaillerons ensuite les résultats de l'expérience, suivi d'une discussion de ces résultats, pour enfin conclure et évoquer les perspectives suite à ce travail.

## **I- Synthèse bibliographique**

### **A) La biodiversité dans le domaine de l'agriculture**

#### 1) Qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité désigne la variabilité entre les organismes vivants dans les écosystèmes dont ils font partis (Watson et al., 2005). Elle a plusieurs dimensions (temps et espace) et comprend la diversité au sein des espèces (génétique, phénotypique), entre les espèces et au sein des écosystèmes (Watson et al., 2005). Deux approches permettent d'étudier la biodiversité : l'approche taxonomique et l'approche fonctionnelle (Figure 1). Ces deux approches sont complémentaires : l'approche taxonomique permet d'étudier la composition et l'organisation des écosystèmes, tandis que l'approche fonctionnelle permet d'expliquer leurs dynamiques et fonctionnements (Keddy, 1992 ; Mcneely, 2002 ; Petchey et Gaston, 2006 ; Hillebrand et Matthiessen, 2009). Lorsque l'on cherche à étudier la biodiversité, il est alors intéressant de travailler sur ces deux aspects.

#### 2) Les services écosystémiques

Les services écosystémiques sont nombreux et désignent les bénéfices que les humains peuvent retirer des écosystèmes (Garbach et al., 2014). On distingue quatre types de services écosystémiques, détaillés dans la Figure 2 : **les services d'approvisionnement, les services de soutien, les services culturels et les services de régulation.** Par la suite, deux services de régulation seront développés : la pollinisation par les insectes, oiseaux et chauve-souris qui permet d'assurer la production de nombreux végétaux, et la lutte biologique par les

## Approche taxonomique

Elle a pour but de décrire précisément les organismes vivants, leur lien de parenté et de les classer en les regroupant dans différents groupes appelés taxons hiérarchisés (espèce, genre, famille, ordre) (Mcneely, 2002).

## Approche fonctionnelle

La biodiversité ne peut pas être décrite seulement en classant les êtres vivants. Il est intéressant d'étudier aussi le rôle des organismes dans les écosystèmes (Keddy, 1992 ; Mcneely, 2002 ; Petchey et Gaston, 2006 ; Hillebrand et Matthiessen, 2009). Ainsi des organismes peuvent avoir des rôles similaires mais appartenir à des taxons différents. A l'échelle des individus des organismes étudiés, on peut alors étudier les caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques : on parle de trait fonctionnel. Les traits de tous les individus d'un écosystème peuvent affecter son fonctionnement (Effect trait : trait fonctionnel d'effet), ou bien à l'inverse résulter des facteurs environnementaux (Response trait : trait fonctionnel de réponse).

Figure 1 : Description de l'approche taxonomique et fonctionnelle utilisées pour étudier la biodiversité

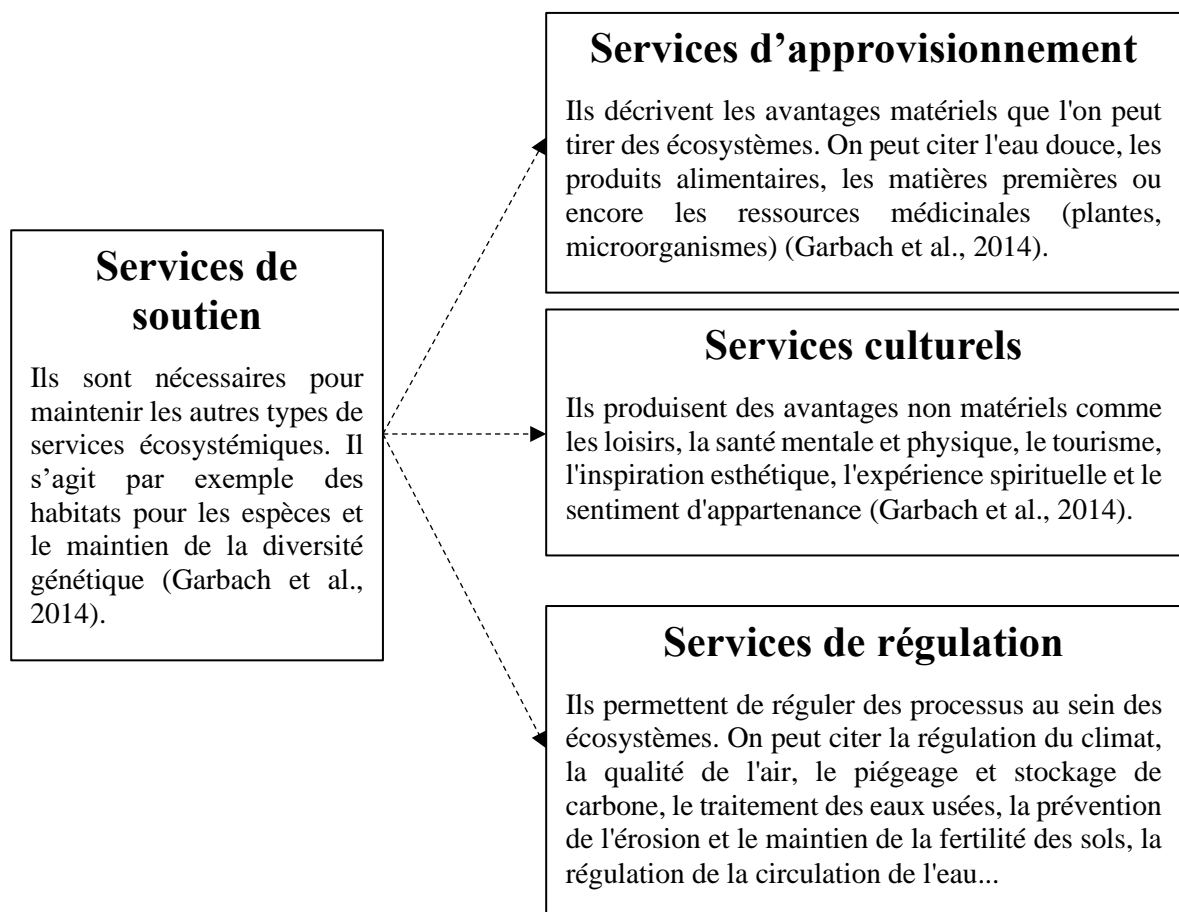


Figure 2 : Description des quatre types de services écosystémiques et leurs relations. Les flèches indiquent un besoin du service où arrive la flèche du type de services d'où part la flèche.

prédateurs et les parasitoïdes qui permettent de réguler les populations d'organismes nuisibles aux cultures ou vecteurs de maladies (Garbach et al., 2014).

### 3) Services et disservices dans les agroécosystèmes

À l'inverse des services précédemment cités, la biodiversité au sein des agroécosystèmes peut entraîner des disservices dans le domaine de l'agriculture. En effet, la présence de ravageurs, de pathogènes et de plantes invasives peut diminuer le rendement et la qualité des productions, entraînant parfois des pertes de revenus importantes (Zhang et al., 2007). Les arthropodes détruisent environ 18 à 20% de la production agricole annuelle dans le monde (Sharma et al., 2017). La Figure 3 représente un schéma détaillant les interactions entre les disservices, services et les agroécosystèmes. Nous allons ici nous concentrer sur les services écosystémiques apportés par les auxiliaires de cultures dans les agroécosystèmes. On appelle « auxiliaires des cultures » des organismes vivants qui fournissent des services écosystémiques améliorent la production agricole (Joseph et al., 2018). On distingue les prédateurs et parasitoïdes des pollinisateurs :

- Certains auxiliaires, appelés **prédateurs et parasitoïdes**, régulent les populations de ravageurs de par leur régime alimentaire et leur cycle biologique (Sentenac, 2011). La prédation est une interaction trophique directe entre deux organismes par laquelle une espèce « prédateur » va consommer une espèce « proie » (Joseph et al., 2018). On distingue les prédateurs généralistes qui se nourrissent de plusieurs types de proies des prédateurs spécifiques qui ne consomment qu'une ou peu d'espèces. Ces prédateurs sont souvent des arthropodes (insectes, araignées, acariens...). Les **parasitoïdes** sont essentiellement des hyménoptères et des diptères dont les larves vont se développer dans un autre organisme entraînant sa mort (Joseph et al., 2018). Les parasitoïdes sont les organismes les plus souvent utilisés en lutte biologique pour contrôler les ravageurs des cultures d'après une review de Stiling et Cornelissen (2005) de 878 études sur des cultures variées dans le monde.
- Outre le service des régulations naturelles, les insectes jouent aussi un rôle important dans la fonction d'approvisionnement, en tant que **pollinisateurs**. Plusieurs groupes contribuent à ce service écosystémique mais les principaux sont les hyménoptères et les diptères (Zhang et al., 2007). On considère qu'un tiers de la nourriture consommée dans le monde existe grâce à la pollinisation entomophile (McGregor, 1976). Par ailleurs, les insectes pollinisateurs sont responsables de la pollinisation de 65% des espèces de plantes sauvages (Kearns et al., 1998 ; Ashman et al., 2004). Au total, les insectes sont responsables de la pollinisation de 30 000 espèces de plantes (McGregor, 1976).

Les liens entre les Hommes et les arthropodes en agriculture sont forts et complexes, entre disservices des ravageurs de cultures et dépendance aux auxiliaires pour assurer les régulations naturelles et la pollinisation.

### 4) Améliorer et conserver la biodiversité des auxiliaires : la lutte biologique par conservation

Une des stratégies pour limiter l'impact des ravageurs sur les cultures consiste à modifier l'environnement et les pratiques agricoles pour favoriser les ennemis naturels déjà présents dans les parcelles.

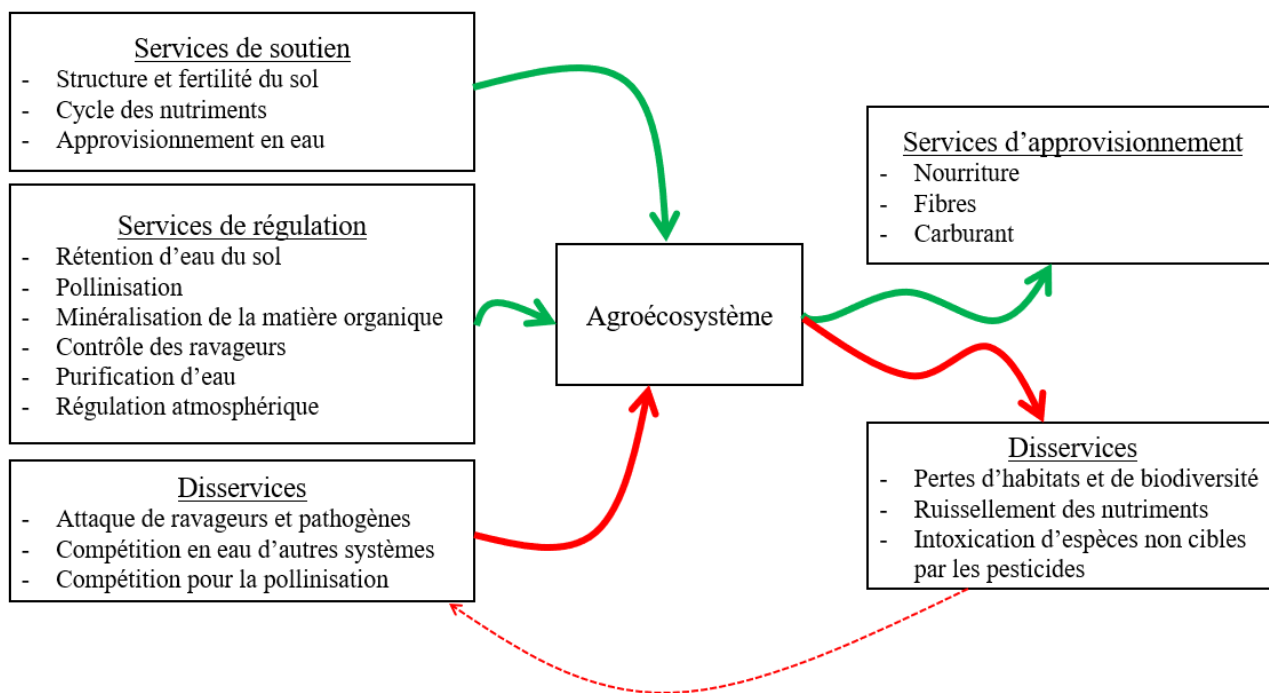


Figure 3 : Disservices et services écosystémiques au sein d'un Agroécosystème. Les flèches vertes sont à l'origine de services, les flèches rouges à l'origine de disservices. Schéma modifié d'après Zhang et al. (2007).

On parle de lutte biologique par conservation de la biodiversité. Cette stratégie s'appuie sur l'aménagement de la parcelle avec la mise en place d'habitats semi-naturels qui sont une source de nourriture (pollen, nectar, proies alternatives) et d'abris (conditions climatiques difficiles, hibernation) pour les auxiliaires (Holland et al., 2016). Une forte diversité d'ennemis naturels est souvent associée à la présence de ces habitats (Letourneau et al., 2011). Néanmoins, une forte diversité peut aussi limiter l'efficacité de la lutte biologique en augmentant la prédation intragilde (Martin et al., 2013). Les efficacités connues à ce jour de ces différents aménagements sont synthétisés dans le Tableau I (Holland et al., 2016).

La diversité des auxiliaires est influencée par de nombreux facteurs : pratiques agricoles, structure du paysage, biodiversité floristique, conditions climatiques (Holland et al., 2016 ; Winter et al., 2018 ; Geldenhuys et al., 2021 ; Raven et Wagner, 2021) ... Les systèmes agroécologiques étudiés dans le projet SALSA présentent une biodiversité végétale plus importante que des systèmes viticoles conventionnels (couverts végétaux, agroforesterie). Nous allons donc nous intéresser au rôle de la diversité végétale sur la présence d'auxiliaires.

## **B) La biodiversité végétale : un facteur favorisant la présence d'auxiliaires et le contrôle des ravageurs**

Certaines études se sont intéressées aux conséquences d'une diminution de biodiversité végétale sur le fonctionnement des écosystèmes (Chapin et al., 1997; Tilman, 1999 ; Loreau et al., 2001). Les efforts ont porté sur la façon dont la perte de biodiversité taxonomique et fonctionnelle végétale peut impacter le fonctionnement de processus variés : productivité des écosystèmes, cycle des nutriments, stabilité des écosystèmes (Hooper et Vitousek, 1998 ; Hector et al., 1999 ; Cardinale et al., 2007). Une augmentation de la diversité végétale semble avoir de nombreux effets bénéfiques en termes de lutte biologique (Crutsinger et al., 2006 ; Cardinale et al., 2007 ; Haddad et al., 2009 ; Ebeling et al., 2018) expliqués par plusieurs hypothèses (Figure 4) :

### 1) Les hypothèses expliquant une faible pression des ravageurs

Beaucoup d'herbivores présentent un fort degré de spécialisation alimentaire : cette dernière permet de diminuer la compétition entre différentes espèces phytophages et résulte d'une évolution face aux coûts métaboliques importants nécessaires au contournement des défenses secrétées par les plantes (Bernays et Graham, 1988 ; Jaenike, 1990). C'est cette spécificité qui explique **l'Hypothèse de la résistance du milieu**. Cette hypothèse indique qu'un mélange d'espèces végétales, de par sa structure, ses substances de défenses chimiques diversifiées et ses microclimats associés rend difficile le développement d'insectes phytophages spécifiques (Altieri et Letourneau, 1982). Plusieurs autres hypothèses sont reliées à cette hypothèse :

- **L'Hypothèse de la concentration de ressource** (The ressource concentration Hypothesis) stipule que les herbivores spécialistes sont attirés par des concentrations élevées de leurs plantes hôtes et restent plus facilement sur ces dernières (Root, 1973). Si une communauté végétale présente peu d'espèces, alors les herbivores ont accès à davantage de plantes hôtes et sont alors plus abondants mais uniquement localement (Haddad et al., 2009)

Tableau I : Evaluation subjective de Holland et al. (2016) suite à une review de 152 articles scientifiques sur l'efficacité des aménagements agroécologiques en Europe autour des parcelles (N = None, NA = Non applicable, ND = Non Documenté, \* = évidences faibles, \*\* = évidences modérées, \*\*\* = évidences fortes)

	Effets sur les auxiliaires au sein de ces habitats	Effets sur les auxiliaires au sein des cultures adjacentes	Effets sur le contrôle des ravageurs
Haie lignifiée	**	*	*
Bois	*	*/N	*/ND
Bande enherbée tondue	***	*	*
Bande enherbée fleurie	***	**	**
Densité faible de semences et culture de couverture (engrais vert)	**	NA	*
Prairie à haute valeur naturelle	**	**	ND

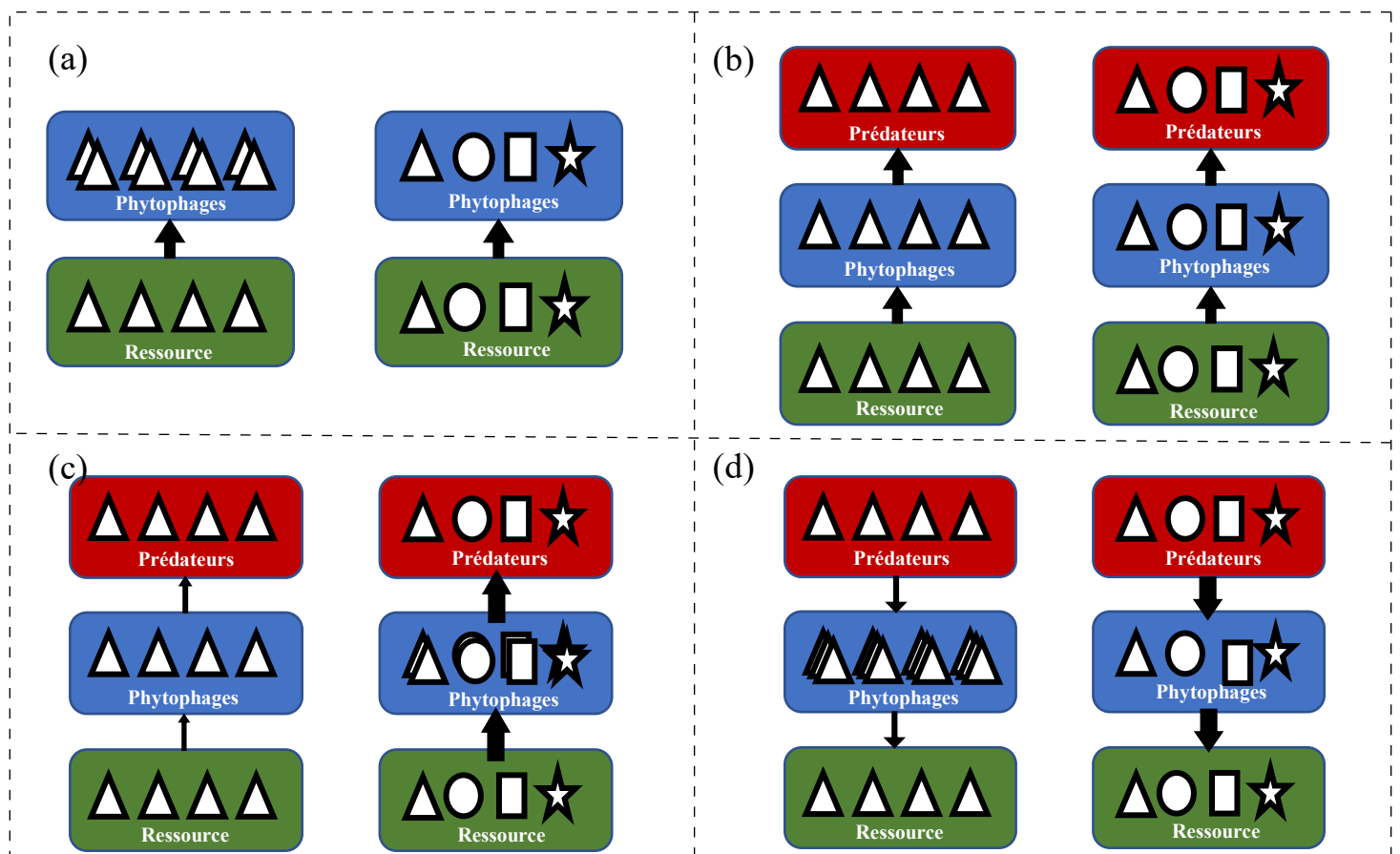


Figure 4 : Les différentes hypothèses théoriques des interactions entre biodiversité végétale et biodiversité des niveaux trophiques adjacents. (a) Hypothèse de concentration des ressources (b) Hypothèse de la spécialisation des ressources (c) Hypothèse du « plus d'individus » (d) Hypothèses des ennemis. La taille des flèches indique le niveau de production du niveau trophique d'où part la flèche.



(Figure 4 (a)). Une augmentation de diversité végétale diminue alors la quantité de ressources sur lesquelles les phytophages spécifiques se développent. A l'inverse, les monocultures favorisent un nombre restreint de phytophages spécifiques, qui sont des ravageurs bien adaptés (Altieri et Letourneau, 1982).

- **L'Hypothèse de la culture perturbatrice** (Disruptive-crop Hypothesis) prédit que la présence d'une seconde espèce végétale dans une culture rend difficile le développement d'un phytophage spécialiste sur sa plante hôte. La seconde espèce végétale crée un microenvironnement défavorable au développement et une barrière à la dispersion des phytophages (Vandermeer, 1992).

## 2) Les hypothèses expliquant un effet positif sur des auxiliaires

**L'Hypothèse de spécialisation des ressources** (the Resource Specialization Hypothesis) énonce qu'augmenter la biodiversité végétale (taxonomique et fonctionnelle) augmente la diversité des ressources disponibles et permet d'attirer une plus grande diversité d'herbivores (Figure 4 (b)) (Hutchinson, 1959 ; Strong et al., 1984; Tilman, 1999 ; Cardinale et al., 2007). De même, **l'Hypothèse « du plus d'individus »** (the More Individuals Hypothesis) indique que les communautés végétales diversifiées produisent souvent plus de biomasse que les communautés pauvres en espèces végétales (Figure 4 (c)) (Tilman et al., 2001), augmentant les quantités de ressources disponibles et permettant la cohabitation de plus d'espèces et la présence de plus d'individus de chaque espèce (Srivastava et Lawton, 1998). Ces hypothèses sont alors en contradiction avec les hypothèses détaillées dans le 1). Néanmoins ces deux hypothèses peuvent être appliquées aux niveaux trophiques supérieurs : les prédateurs de milieux diversifiés ont plus de ressources disponibles (i.e. une diversité d'arthropodes phytophages), et peuvent eux aussi se diversifier, contrôlant ainsi mieux les espèces phytophages ravageurs. Ces hypothèses peuvent de plus expliquer par un fort effet « **bottom up** » ou « montant » la corrélation positive entre la diversité végétale et la richesse et abondance des arthropodes prédateurs polyphages ou spécialistes (Figure 5) (Haddad et al., 2001 ; Johnson, 2008).

Enfin, les prédateurs peuvent aussi directement répondre à la diversité végétale (Strong et al., 1984). La structure des communautés peut ainsi être modifiée avec des effets « **top down** » ou **descendant**, avec un rôle important des prédateurs dans la régulation et la structure des communautés des niveaux trophiques inférieurs (Figure 5) (Hunter et Price, 1992). Deux hypothèses sous-jacentes existent :

- **L'Hypothèse des Ennemis** prédit qu'une plus grande diversité végétale augmente l'abondance et la diversité des ennemis naturels (prédateurs, parasitoïdes) de par la présence d'une plus grande diversité de leurs proies et de ressources alternatives (pollen, nectar) (Figure 4 (d)) (Root, 1973).
- D'après une Review de Langellotto et Denno (2004) de 43 articles scientifiques, augmenter la structure et la complexité des habitats (végétaux) augmente l'abondance et la diversité d'ennemis naturels dans les agroécosystèmes. Une review de Chaplin-Kramer et al. (2011) de 46 études nuancent en précisant que l'effet de **la structure et la complexité du paysage** a un impact à l'échelle du paysage pour les

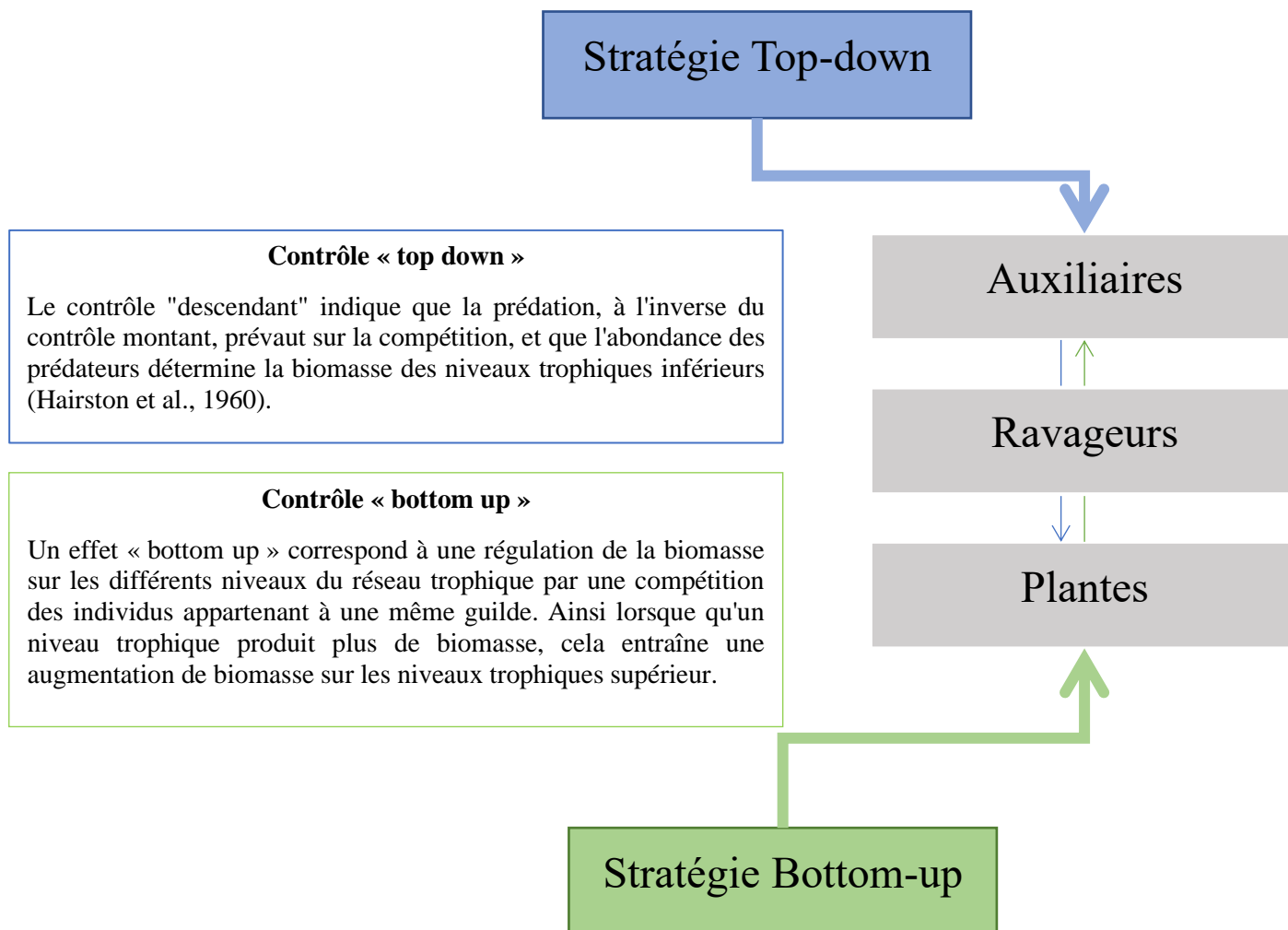


Figure 5 : Schéma des stratégies « Top-down » et « Bottom-up », i.e. les différents flux de biomasse entre niveaux trophiques (en gris).

prédateurs généralistes et à l'échelle de la parcelle pour les prédateurs spécifiques. Les mécanismes sous-jacents à l'augmentation de la diversité d'auxiliaires dans des habitats structurés et complexes sont mal connus. Outre la production de ressources alimentaires alternatives, des hypothèses existent : la **présence de refuges** contre la prédation intraguilde, des captures plus efficaces des proies (Strong et al., 1984 ; Langellotto et Denno, 2004 ; Chaplin-Kramer et al., 2011 ; Stein et al., 2014;)... L'échelle d'étude considérée, ainsi que le type de biodiversité étudié (taxonomique, fonctionnelle) sont alors importants et peuvent affecter les types de relations trophiques observées.

La majorité des études expérimentales prédisent un plus grand nombre d'auxiliaires dans des milieux présentant une plus grande diversité végétale (Siemann et al., 1998 ; Crutsinger et al., 2006 ; Haddad et al., 2009 ; Chaplin-Kramer et al., 2011 ; Balzan et al., 2016). Cependant, quelques travaux ne mettent en évidence aucun lien entre diversité végétale et les phytophages associés (Hawkins et Porter, 2003 ; Jetz et al., 2009). Ces différences peuvent s'expliquer par les nombreux facteurs régissant la diversité des arthropodes : climat, structure des paysages à plus grande échelle...

### 3) Le climat, facteur abiotique pouvant masquer l'impact de la diversification végétale sur les auxiliaires

Plusieurs travaux indiquent que le climat peut influencer l'activité des arthropodes et leurs interactions avec les ressources (recherche de plantes hôtes, déplacement, recherche de proies, reproduction). Lors de suivis des auxiliaires, ces effets peuvent impacter l'efficacité et la représentativité de l'échantillonnage (biais expérimental). Les variations intra et inter annuelles résultantes peuvent alors masquer les effets d'autres facteurs influençant la présence des auxiliaires (Saska et al., 2013 ; Zhu et al., 2014 ; Chen et al., 2018).

- Il a été montré que la **température** avait un effet sur les captures d'arthropodes se déplaçant au sol, notamment les carabes (Saska et al., 2013). Elle semble aussi affecter l'échantillonnage des insectes volants : plusieurs études ont montré une corrélation positive entre la température et la richesse d'abeilles domestiques (Hoehn et al., 2008; Høye et Forchhammer, 2008).
- La **pluie** peut impacter le comportement des insectes et modifier les interactions des communautés. Il a été observé une réduction de l'abondance des herbivores, une abondance inchangée d'auxiliaires lors de précipitations (Suttle et al., 2007 ; Zhu et al., 2014). De plus, l'activité des pollinisateurs, et plus généralement des insectes volants, diminue généralement lors de précipitations, avec un taux de visite des fleurs qui diminue avec de l'intensification des pluies (Totland, 1994 ; Poulsen, 1996).
- Le **vent** est un facteur qui a été souvent négligé dans l'étude des interactions trophiques. Il a été montré qu'il avait des impacts négatifs sur le développement larvaire et la biomasse de Lépidoptères, et que la prédation par des coccinelles diminuait lorsqu'elles étaient exposées (Cherry et Barton, 2017 ; Chen et al., 2018). Par ailleurs, certaines araignées (Salticidae) utilisent le vent pour se déplacer sur de longues distances (Bishop, 1990). Le vent peut ainsi perturber les interactions trophiques au sein des systèmes et les captures lors des suivis d'auxiliaires (Cherry et Barton, 2017 ; Chen et al., 2018).



## **C) La biodiversité en viticulture**

### **1) Ravageurs et pathogènes en viticulture et leur contrôle**

Plusieurs ravageurs et maladies peuvent affecter la vigne (Annexe I), de sorte qu'une importante utilisation de produits phytosanitaires est souvent nécessaire pour atteindre les objectifs de production. Les fongicides sont les pesticides les plus utilisés, représentant plus de 80% de l'IFT de référence. Deux agents pathogènes sont majoritairement responsables de ces IFT élevés : (1) Le mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola*, un oomycète (2) L'oïdium, *Erysiphe necator*, un champignon ascomycète. Les insectes ravageurs qui posent problèmes sur vigne attaquent majoritairement les grappes (cochylis, eudémis qui peuvent favoriser la présence de pourriture grise *Botrytis cinerea*), les feuilles (cicadelle verte : *Empoasca vitis*), ou encore sont vecteurs de maladies (cicadelle de la flavescence dorée : *Scaphoideius titanus*) (Pertot et al., 2017). Les insecticides représentent seulement 10 à 15% de l'IFT en viticulture. En Annexe I sont détaillées les principales solutions alternatives aux pesticides potentielles en viticulture.

### **2) Les ennemis naturels**

Les principaux prédateurs et parasitoïdes, ainsi que leur efficacité vis-à-vis de certains ravageurs sont présentés en Annexe II. Les prédateurs sont nombreux : on distingue les araignées, opilions, acariens prédateurs, coléoptères (notamment carabes, staphylins, coccinelles), certains diptères, punaises, chrysopes et thrips... Les parasitoïdes sont nombreux et appartiennent à l'ordre des hyménoptères pour la plupart : on dénombre 70 espèces d'hyménoptères parasitoïdes collectées dans les vignobles en France (Chamont, 2021). Au total, les auxiliaires rencontrés dans les vignobles consomment et parasitent de nombreux ravageurs : cicadelles, acariens, cochenilles, pyrales, noctuelles, tordeuses (Chamont, 2021) ... Il existe beaucoup d'auxiliaires dont l'efficacité au champ est peu ou pas connue, mais qui mérite des études plus approfondies.

*Vitis vinifera* est une culture autogame, la pollinisation par les abeilles domestiques et sauvages n'est donc pas nécessaire pour assurer la qualité et la productivité. Néanmoins, favoriser la présence et le bon développement des pollinisateurs en viticulture présente un intérêt plus général, au vu de leur importance pour d'autres cultures et la disparition de leurs effectifs depuis quelques décennies (Zattara et Aizen, 2021).

### **3) Gestion de la biodiversité végétale en viticulture : l'enherbement et l'agroforesterie**

Il existe plusieurs leviers pour augmenter la biodiversité végétale dans les vignobles. Il a été montré que l'abondance et la richesse des auxiliaires en viticulture (parasitoïdes, prédateurs, pollinisateurs) étaient positivement corrélées à la présence et la diversité des couverts dans l'interrang (% de recouvrement, volume de litière végétale, richesse spécifique, hauteur des plantes) (Sáenz-Romo et al., 2019 ; Paiola et al., 2020 ; Geldenhuys et al., 2021). Les études en viticulture ont été réalisées en analysant les effets de la biodiversité taxonomique du couvert sur la biodiversité taxonomique et fonctionnelle des auxiliaires de culture (Kennedy et al., 2013 ; Trivellone et al., 2014 ; Paiola et al., 2020 ; Geldenhuys et al., 2021).



L'enherbement consiste à maintenir un couvert végétal, permanent ou temporaire, semé ou naturel, dans le rang ou l'interrang (Figure 6). Cette pratique présente de nombreux avantages (Kazakou et al., 2012) : amélioration de la structure (limitation de l'érosion) et la qualité du sol (matière organique, activité biologique, fertilité minérale), limitation des recours aux herbicides (couvert compétitif envers les adventices), maintien d'un espace praticable pour les engins agricoles, maîtrise de la vigueur de la vigne (amélioration de la qualité) et enfin favoriser la présence d'auxiliaires (comme spécifié en I- B)). Un enherbement peut être détruit par différents modes de gestion (tonte, travail du sol superficiel, profond ou application d'herbicides). Il existe alors une dynamique spatiotemporelle dans les vignobles (Figure 6). La gestion du couvert peut avoir un effet sur la composition de la flore (Fried et al., 2019) : **(1)** Les interrangs gérés par travail du sol (perturbation intense), sont colonisés par des espèces annuelles et des vivaces à organes de multiplication végétative souterrains qui semblent être plus tolérants au fractionnement du sol. **(2)** Les interrangs traités avec des herbicides sont colonisés par des plantes annuelles et des vivaces à multiplication végétative qui s'adaptent facilement aux perturbations et des annuelles estivales qui évitent les traitements en germant plus tard dans la saison. **(3)** Les interrangs enherbés et gérés par tonte sont colonisés par des plantes pérennes au port en rosette adaptés à des fauches répétées. La tonte va favoriser un spectre plus large d'espèces et ainsi augmenter la diversité.

En 2010, 49% des vignobles étaient enherbés, 39% de manière permanente, représentant 11% de la surface totale de vignobles (Garcia et al., 2018). Il existe néanmoins des différences entre régions : en Alsace ou à Bordeaux, plus de 80% des vignobles sont enherbés, contre moins de 30% pour d'autres régions (Champagne, Provence, Languedoc). Les limites à l'enherbement peuvent être dues à des contraintes techniques, des objectifs de rendements important ou encore des contraintes hydriques (Garcia et al., 2018).

La présence d'arbre est elle aussi à l'origine d'une complexification du paysage et d'une augmentation de la diversité végétale. En France, l'agroforesterie est une pratique encore peu développée en viticulture (Bourgade et al., 2018). Néanmoins elle pourrait être à l'origine de multiples services écosystémiques : formation de microclimats, équilibre ravageurs/auxiliaires, fertilité et biodiversité du sol (Bourgade et al., 2018). Concernant la biodiversité des auxiliaires, les arbres offrent une diversité d'habitats, de refuges, de ressources alimentaires, de zone de chasse, reproduction et d'hivernage, améliorant la présence de prédateurs dans les vignobles (Projet VITIFOREST, Bourgade et al., 2018).

## **D) Les hypothèses de l'étude**

Suite à l'analyse des différents facteurs pouvant influencer la présence, l'activité et les dynamiques des auxiliaires de culture, notre hypothèse principale dans cette étude concerne l'impact de la diversification végétale sur la présence des auxiliaires en viticulture. Par ailleurs, on note un manque d'études sur l'impact de la biodiversité fonctionnelle de cette diversité végétale sur les ennemis naturels et les pollinisateurs. Ainsi, une hypothèse serait que des systèmes viticoles plus diversifiés, notamment avec l'intégration de systèmes agroforestiers et/ou d'enherbement favorisent la biodiversité faunistique (fonctionnelle et taxonomique). En effet, d'après les hypothèses de spécialisation des ressources, du "plus d'individus", et de la résistance du milieu,

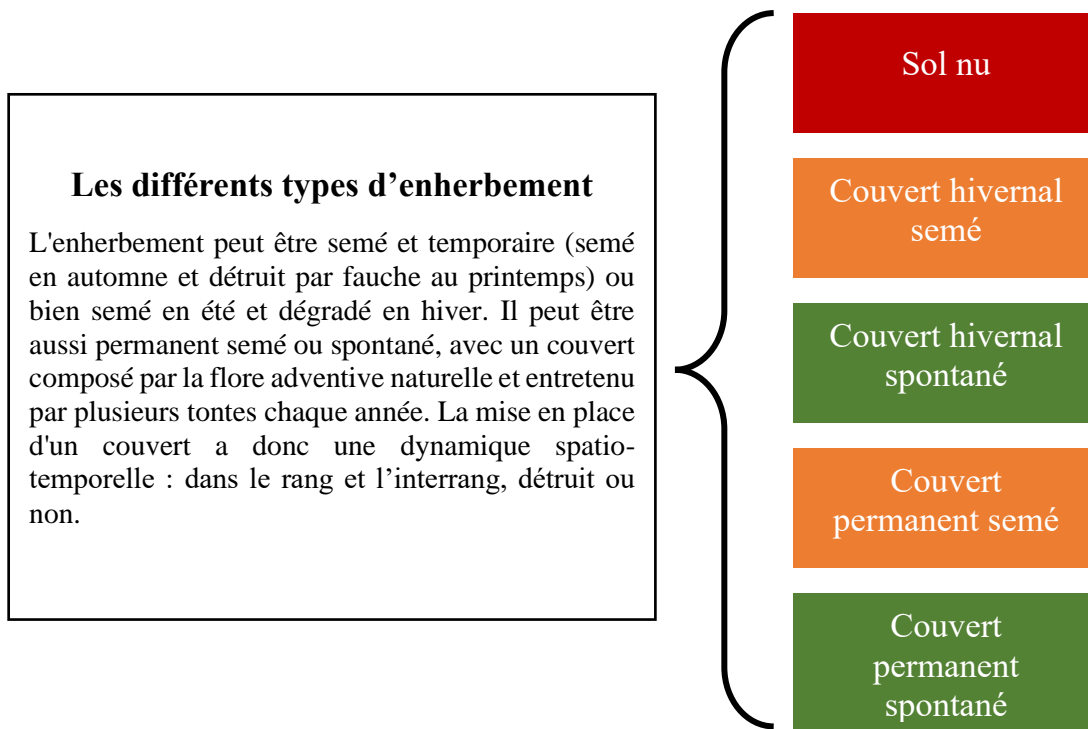


Figure 6 : Description des différents types d'enherbement en viticulture

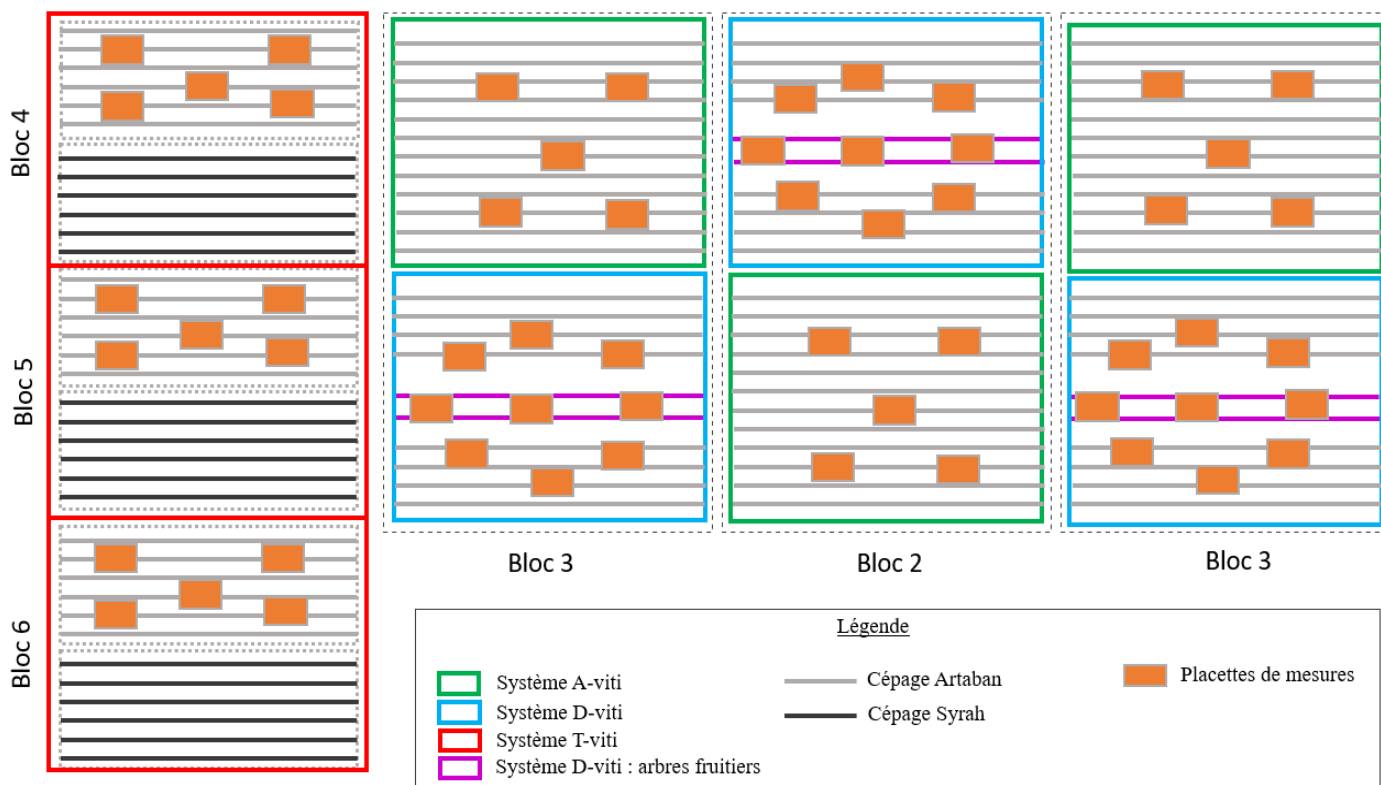


Figure 7 : Dispositif expérimental du projet SALSAS-Montpellier



une diversité fonctionnelle et taxonomique des couverts favoriserait la présence d'auxiliaires des cultures, en proposant des ressources alimentaires et des abris, et diminuerait la présence de phytophages en limitant leurs expansions et leurs ressources alimentaires, tout en augmentant leurs nombres d'ennemis généralistes.

## II- Matériels et méthodes

### A) Le dispositif du projet SALSA à Montpellier

- **Les différents systèmes**

Le dispositif expérimental est situé au domaine du Chapitre à Villeneuve-lès-Maguelone, en périphérie de Montpellier (43°31'50.46"N 3°52'05.95"E) et est constitué d'une unique parcelle expérimentale de 3 ha où trois systèmes sont étudiés. Deux cépages sont utilisés selon les systèmes : le cépage Syrah et le cépage Artaban, mis en marché en 2017 et présentant une résistance au mildiou et à l'oïdium (INRAe, 2017). Les systèmes sont constitués de trois répétitions de 0.2 hectares chacune, disposés en bloc (Figure 7). Ils présentent des modes de conduites différents et sont uniquement différenciés par un gradient de diversification :

**(1) Témoin-viti (ou Tviti)** est un système conduit en conventionnel (cépages Syrah et Artaban) (Figure 8 (a)). Les répétitions de ce système sont situées à l'écart des deux autres systèmes dits « agroécologiques », environ 30 mètres au Nord-Est (Figure 7). En effet, il a été considéré que si les répétitions du témoin étaient au milieu des deux autres systèmes où la biodiversité est favorisée, alors les traitements en conventionnels allaient la compromettre, et des échanges de biodiversité entre systèmes pouvaient masquer l'observation d'effets. Le témoin est constitué de deux cépages :

**(2) All-viti (ou Aviti)** correspond à un système de conduite agroécologique et propose un premier degré de diversification avec l'utilisation du cépage résistant Artaban et la présence de couverts végétaux semés dans les interrangs. Un schéma du système est présent Figure 8 (b), ainsi que la liste des espèces végétales semées dans les couverts.

**(3) Divers-viti (ou Dviti)** propose un degré de diversification plus important puisqu'il intègre des aspects agroforestiers (Figure 8 (c)). Les rangées de vignes sont similaires au système Aviti mais quatre rangées de vignes au milieu de chaque répétition ont été remplacées par deux rangées d'arbres fruitiers. Les espèces choisies sont des figuiers et des grenadiers car : (1) elles produisent des fruits qui peuvent être valorisés en vente directe ou transformés (2) l'utilisation d'arbres de familles botaniques différentes (Moraceae, Punicaceae) limite la présence de ravageurs spécifique à la vigne (Vitaceae).

Les itinéraires techniques 2019-2020 des systèmes sont présentés Annexe III. Les arbres et les vignes ont été plantés en avril 2019 et sont encore jeunes : les vignes ne sont pas encore en production et les arbres ne dépassent pour la plupart pas un mètre de hauteur.

- **Les données météorologiques**

Une station météorologique installée en 2013 sur le Domaine fournit quotidiennement plusieurs variables climatiques : températures, vitesse moyenne du vent et précipitations.

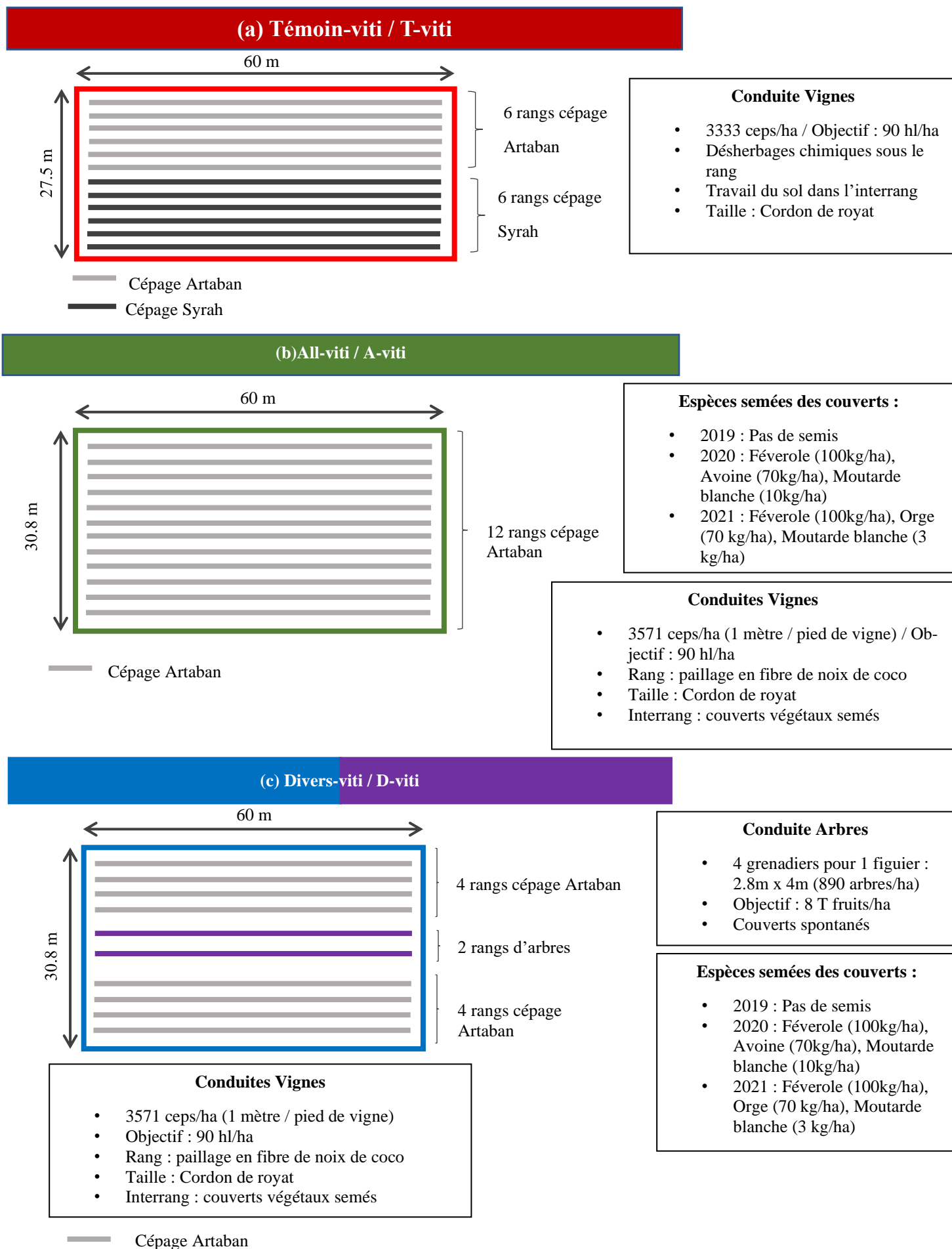


Figure 8 : Les différents systèmes de culture du dispositif SALSA. (a) Témoin-viti (b) All-viti (c) Divers-viti

- **Les placettes**

Des zones de suivi, appelées placettes, sont des unités d'échantillonnages de 6 ceps de vigne et leur interrang associé et restent les mêmes tout au long du projet. Elles sont au nombre de 5 par répétition pour les systèmes Aviti et Tviti. Le système Dviti a quant à lui une structure plus complexe de par la présence de rangées d'arbres au milieu des répétitions. Lors de la mise en place du dispositif, les expérimentateurs ont décidé de séparer ce système en trois sous-systèmes : **(1)** Les rangs de vignes au versant Nord des arbres, **(2)** les rangs de vignes au versant Sud, et **(3)** les deux rangées d'arbres au milieu des répétitions. Dans chacun des sous-systèmes, 3 placettes ont été définies (Figure 7). Le système Dviti contient donc au total 9 placettes par répétition. La position des placettes a été choisie de sorte à couvrir l'ensemble du dispositif et être représentatif des potentielles variabilités pédoclimatiques de la parcelle.

Pour la suite de l'analyse, de par la complexité du système Dviti, il a été décidé de parler de **4 systèmes** au sein du dispositif : les systèmes **Aviti** et **Tviti** dans leurs ensembles, et le système Dviti séparé en 2 sous-systèmes : le système Dviti dans les rangs de vignes (nommé **Dviti**), et le système Dviti au niveau des rangées d'arbres (nommé **Dviti-Arbre**) (Figure 9). Il n'y a pas eu de distinction entre les versants sud et nord des arbres au vu de leur jeunesse, leur faible hauteur ne pouvant pas engendrer de différences sur les variables mesurées (Métral, comm Pers.).

## **B) Caractérisation de la biodiversité de l'entomofaune**

Plusieurs choix ont été réalisés lors de la mise en place des suivis de la faune entomologique dans les différents systèmes : **(1)** Les vignes étant encore jeunes et présentant un manque de vigueur suite à des sécheresses en 2019 et 2020, nous avons décidé de ne pas échantillonner la faune auxiliaire sur le feuillage des vignes pour ne pas le détériorer. **(2)** Au vu de l'impossibilité d'échantillonner sur les vignes, nous n'avons pas caractérisé les populations de ravageurs de la vigne (tordeuses, cochenilles, acarions) et nous sommes concentrer sur la faune auxiliaire (prédateurs, pollinisateurs) et les phytophages non présents sur les plants de vignes. **(3)** Les parasitoïdes n'ont pas été étudié : leur identification est principalement fondée sur une étude précise de traits morphologiques et nécessite beaucoup de compétences. **(4)** Tout piège utilisé pour échantillonner l'entomofaune exerce une certaine sélectivité sur les espèces qu'il va capturer (mode de déplacement des arthropodes, appât utilisé...) pouvant ainsi donner une information biaisée de la biodiversité réelle (De Montaigne et Robert, 2015 ; Montgomery et al., 2021). Il est alors important de noter que l'absence de capture d'une espèce ne signifie pas qu'elle est absente dans l'environnement. Les échantillonnages réalisés ici ne représentent donc pas une image exacte de la réalité mais donne un aperçu de la biodiversité. Afin de caractériser l'abondance et la diversité de différents groupes fonctionnels et taxonomiques, deux types d'échantillonnage ont été mis en place depuis 2019 :

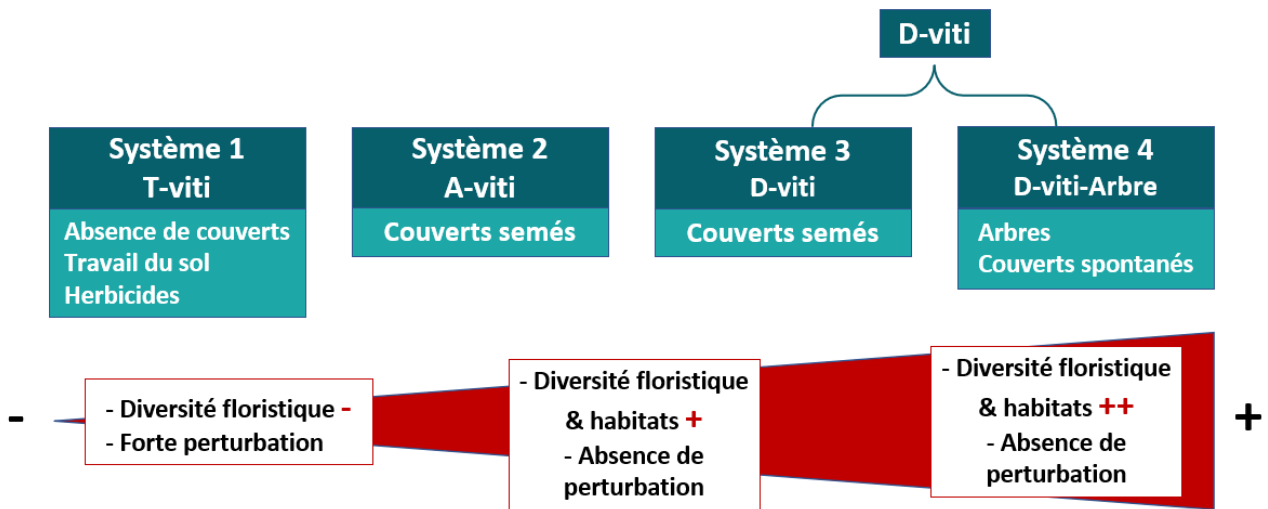


Figure 9 : Les quatre systèmes de culture étudiés selon un gradient de biodiversité lors de cette étude.

## 1) La faune du sol : les pots barber

Les pots barber permettent de capturer la faune se déplaçant au sol (araignées, opilions et carabes, mais aussi des pollinisateurs) (Montgomery et al., 2021). De Montaigne et Robert (2015) soulignent qu'ils donnent une estimation représentative de l'abondance, la richesse et l'activité des insectes présents sur la parcelle.

Ces pièges sont constitués de cônes de 6 cm de diamètre et de 14 cm de profondeur, remplis d'eau savonneuse non parfumée sont laissés 5 jours sur la parcelle (Figure 10 (a)). Chaque pot barber est enterré sous le rang avec son ouverture au niveau du sol permettant à tout insecte se déplaçant de tomber aveuglement à l'intérieur. On dispose un pot barber par placette, soit 57 pots sur l'ensemble du dispositif (Figure 7). La distance entre chaque pot est supérieure à 10 mètres afin d'éviter les biais liés à leur proximité (De Montaigne et Robert, 2015). Au bout de 5 jours, le contenu de chaque pot est récupéré à l'aide d'un tamis avec une maille de 1.28 mm et d'une pince souple. Les individus piégés sont placés dans des tubes annotés remplis d'alcool à 70°.

## 2) La faune aérienne : les pièges coupelles

Le principe des pièges coupelles est d'attirer les insectes grâce à la couleur, confondue comme une source de nourriture (Montgomery et al., 2021). L'utilisation de couleurs différentes permet d'attirer différents taxons et d'estimer plus précisément l'abondance et la richesse spécifique des espèces et groupes fonctionnels étudiés (Campbell et Hanula, 2007). Les pièges coupelles sont appropriés pour étudier les insectes volants appartenant à des ordres variés : Diptères, Hémiptères, Hyménoptères, Lépidoptère, Thysanoptères, certains Coléoptères et Orthoptères (De Montaigne et Robert, 2015 ; Montgomery et al., 2021). Les pièges de couleur jaune attirent une plus grande diversité d'insectes que les autres couleurs, mais le bleu et le blanc sont aussi souvent utilisés en complément (Montgomery et al., 2021). La couleur blanche attire les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) et des abeilles sauvages appartenant au genres *Lasioglossum* et *Hyalaus* (Wallis et Shaw, 2008), la couleur bleue attire les bourdons et la couleur jaune attire plus de diptères (Wallis et Shaw, 2008). Les coupelles peuvent être placées en hauteur ou au sol pour attirer des individus aux dynamiques de vols différentes (Montgomery et al., 2021).

Dans notre dispositif, un piège est composé de trois coupelles en plastique de couleur (bleue, jaune et blanche) disposées au sol et de trois coupelles en hauteur maintenues sur un support en bois d'un mètre de hauteur (Figure 10 (b)). Les coupelles de 18 cm de diamètre sont remplies d'eau (environ 40 cL) avec quelques gouttes de liquide vaisselle non parfumé et reemplies si nécessaire au cours de l'échantillonnage. Les coupelles sont relevées au bout de 48h, et les insectes piégés sont récoltés en filtrant le liquide avec un tamis de 1.28 mm et récupérés avec des pinces souples dans des tubes contenant de l'alcool à 70°. La décision avait été prise en 2019 de réunir les deux coupelles d'une même couleur situées au sol et en hauteur, décision maintenue pour plus de praticité lors de la comparaison des résultats. Cette décision ne nous permettra pas d'étudier les différences potentielles entre les insectes attrapés au sol et ceux attrapés en hauteur. Au vu du rayon d'attraction théorique du piège, il a été décidé de ne pas placer autant de pièges que de placettes sur le dispositif : deux pièges sont disposés dans chaque répétition des systèmes Aviti et Tviti. Concernant les 3 sous-systèmes du système Dviti, il a été décidé dès 2019 de mettre davantage de pièges sur ce système, soit 2 par sous-système

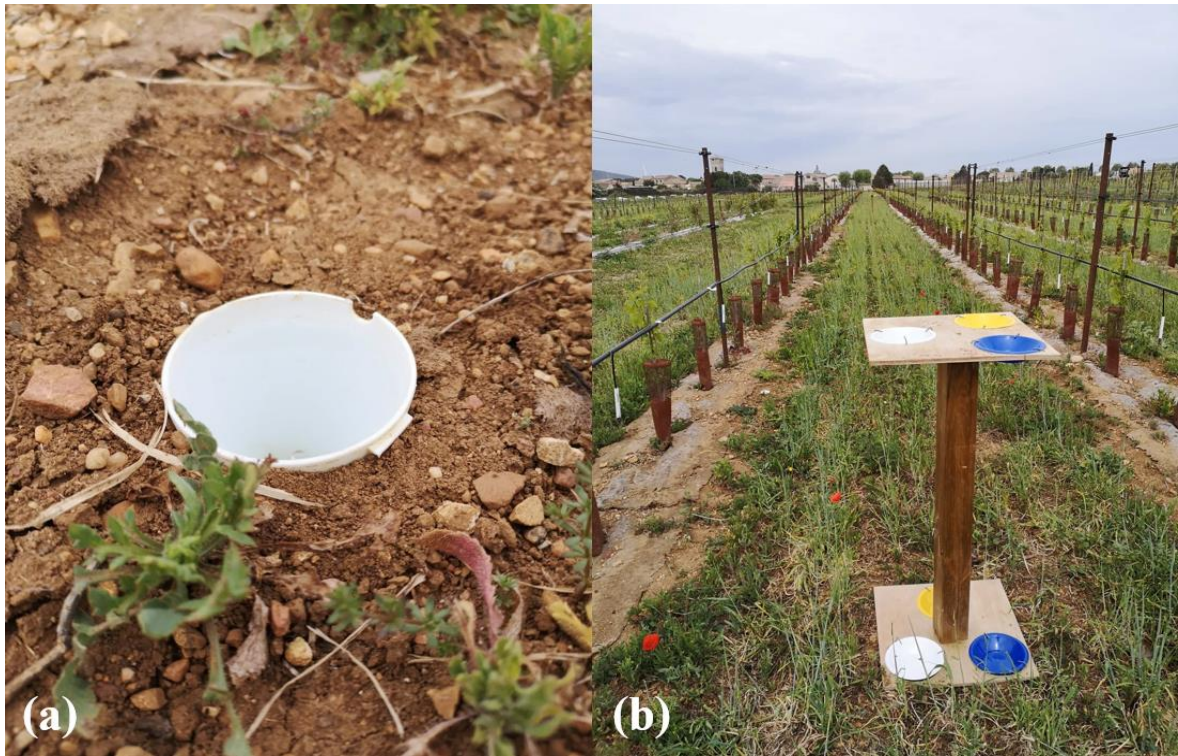


Figure 10 : Photographie des deux types d'échantillonnages sur le dispositif. (a) Pot barber dans le sol (b) Coupelles de couleurs (Source : L. Tabary)

(3x2= 6 pièges). Les pièges sont placés à un minimum de 5 mètres les uns des autres pour éviter toute interactions entre eux (Montgomery et al., 2021).

### 3) Périodes d'échantillonnage et identification de la faune échantillonnée

- **Période d'échantillonnage**

En 2019 et 2020, trois échantillonnages par an étaient effectués en juin, juillet et août pour correspondre aux stades phénologiques de la vigne que sont la floraison, la véraison et la récolte. Nous avons décidé en 2021 de décaler les trois dates en avril, mai et juin en 2021 (26/04/2021 ; 26/05/2021 ; 28/06/2021) pour échantillonner pendant le pic d'activité des insectes étudiés (Boyer et al., 2017). Ces dates sont aussi corrélées aux études des couverts réalisés pour la première fois cette année.

- **Identification de l'entomofaune**

En 2019 et 2020, les échantillons étaient envoyés à un prestataire commun à tout le projet SALSA, Alexis Saintilan (entreprise Arachne). A l'époque, seuls les hyménoptères, araignées, opilions, carabes et quelques diptères étaient identifiés. En 2021, avec comme objectif une étude plus approfondie de la biodiversité, nous avons pris la décision d'élargir l'identification à tous les groupes taxonomiques capturés dans les pièges. Les échantillonnages de 2021 correspondaient à un total de 444 tubes contenant 15649 insectes. Au vu du grand nombre d'individus capturés et du peu de temps disponible, il a été décidé de continuer d'envoyer au prestataire les échantillons pour identifier l'entomofaune. Le niveau taxonomique de l'identification de chaque auxiliaire par le prestataire dépend de ses compétences et varie selon l'ordre auquel ce dernier appartient : la majorité des identifications sont réalisées au genre ou à l'espèce pour les araignées, carabes, opilions et abeilles. Les autres taxons sont identifiés jusqu'à la famille ou l'ordre.

Des recherches bibliographiques ont été réalisées pour placer dans un groupe fonctionnel les insectes échantillonnés et les classer dans trois catégories selon leurs habitudes alimentaires : prédateurs, pollinisateurs et phytophages non spécifiques de la vigne (les ravageurs de la vigne n'étant pas étudiés). Pour la plupart des ordres, une identification au genre ou à l'espèce est nécessaire afin de connaître le régime alimentaire. Nous nous arrêtons donc uniquement au régime alimentaire des individus capturés, nous ne savons pas quels phytophages sont consommés (notamment les ravageurs de la vigne). L'aspect de régulation biologique est donc partiellement étudié dans ce rapport. Les individus ne pouvant pas être classés n'ont pas été considérés dans l'analyse des groupes fonctionnels mais ont été pris en compte pour les aspects taxonomiques.

### **C) Caractérisation des couverts (2021)**

En 2021, pour la première fois depuis la mise en place du projet, deux suivis floristiques ont été effectués avec deux méthodes complémentaires afin de caractériser la biodiversité des couverts (Rabolin-Meinrad et Schneider, 2017). Seul l'interrang a été considéré au vu du paillage en géotextile installé dans le rang limitant la présence d'adventice sous le rang.





### 1) La méthode « Parcours »

Une première méthode appelée “Parcours” consiste à déambuler dans l’interrang et noter les espèces rencontrées pour déterminer la richesse spécifique totale, soit le nombre d’espèces présentes par modalité et répétition. Pour chaque répétition, une surface d’environ 500 m<sup>2</sup> au centre de chaque modalité est prospectée. Pour chaque espèce, en plus de noter leur présence, leur densité a été évaluée selon l’échelle de notation Barralis (Barralis, 1976) (0 = Absence, 1 = Moins de 1 individu par m<sup>2</sup>, 2 = 1 à 2 individus par m<sup>2</sup>, 3 = 3 à 20 individus par m<sup>2</sup>, 4 = 21 à 50 individus par m<sup>2</sup>, 5 = Plus de 50 individus par m<sup>2</sup>). Cette méthode a été réalisée une unique fois en avril pour suivre le protocole commun du projet, mais une seconde méthode plus précise a été privilégiée pour ce stage et servira pour les analyses.

### 2) La méthode des quadrats

En avril et juin 2021, conjointement à l’échantillonnage des auxiliaires, une seconde méthode a été mise en place, permettant de décrire plus précisément la nature des couverts. Des quadrats de 0.25m<sup>2</sup> (0.50 x 0.50 cm) ont été placés au niveau des 57 placettes décrites Figure 9. Sur chaque placette, un quadrat a été disposé aléatoirement dans l’interrang (Figure 11). Dans la surface sélectionnée ont été noté visuellement : les espèces présentes, leur taux de recouvrement, si elles étaient en fleurs, les taux de recouvrement de fleurs et de sol nu observés dans le quadrat. Aucun échantillonnage de flore n’a eu lieu en mai 2021 lors de la seconde session d’échantillonnage de la faune auxiliaire, puisque l’échantillonnage de la faune a été effectué à la suite d’une tonte des couverts présents dans les interrangs des systèmes.

### 3) Biodiversité floristique fonctionnelle

Trois traits floraux ont par ailleurs été mesurés sur le terrain pour 10 espèces fleuries : la hauteur florale, le diamètre de l’inflorescence et le nombre d’unités florales par individus (Figure 12 (a)). La sélection des espèces a été réalisé pour représenter au moins 80% de toutes les fleurs présentes sur la parcelle. Pour chacune des 10 espèces, les trois traits ont été mesuré sur 10 individus prélevés au hasard sur la parcelle à l’aide d’un mètre. Le nombre d’unité florale correspond à une fleur ou une inflorescence selon l’espèce (Lázaro et al., 2010). Pour les espèces présentant des inflorescences rapprochées et compactes (Asteracés, Apiacé), chaque inflorescence est comptée comme une seule unité florale. Pour les autres espèces, ce sont les fleurs qui sont dénombrées. Le diamètre floral correspond quant à lui au diamètre maximal d’une unité florale (inflorescence ou fleur). La hauteur florale correspond à la distance en cm entre le sol et l’unité florale sélectionnée.

Pour toutes les plantes fleuries recensées lors des échantillonnages, des traits floraux ont été récupérés à partir de la base de données libre d’accès Baseflore (Julve, 1998), détaillés Figure 12 (b). Les différentes modalités pour chaque trait récupéré sur la base de données sont détaillées Annexe IV.

## **D) Analyses statistiques**

### 1) Les variables considérées et les indices mesurés

40 variables ont été analysées et sont détaillées dans le Tableau Annexe V. On distingue :



Figure 11 : Quadrat de 0.50x0.50 cm utilisé pour la caractérisation des couverts (Source : L. Tabary)

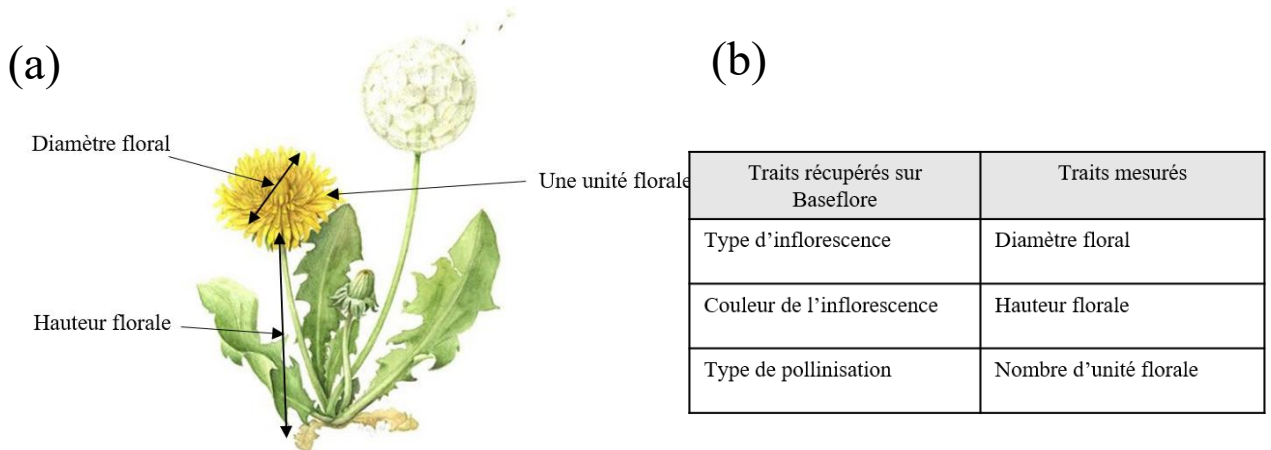


Figure 12 : Traits floraux mesurés sur le terrain et récupérés sur la base de données Baseflore. (a) Traits floraux mesurés sur le terrain, ici sur une Astéracée (Source : Pixabay). (b) Tableau bilan des traits floraux récupérés pour chaque espèce en fleur sur la parcelle et leur origine.

- **Des variables mixtes liées aux caractéristiques du couvert végétal**

On retrouve tout d'abord des **pourcentages** liés au taux de recouvrement des espèces et des traits floraux fonctionnels, qui représentent des proportions entre 0 et 1. Les **données qualitatives** de notre jeu de données sont les caractéristiques fonctionnelles des plantes identifiées dans les couverts. Afin de les étudier, nous avons pour chaque trait fonctionnel et pour chaque quadrat calculé, à l'aide du taux de recouvrement des espèces identifiées, le taux de recouvrement de chaque modalité du trait fonctionnel considéré, les considérant donc comme des pourcentages.

Des indices quantitatifs ont été mesurés au sein de chaque quadrat : **l'indice de Shannon** et **l'indice de Piélu (Équitabilité)**. **L'indice de Shannon** prend en compte deux composantes de la diversité : la richesse spécifique et l'équitabilité de répartition des espèces au sein de la communauté (Faurie, 2011). La formule est détaillée Figure 13. **L'indice de Piélu**, ou l'équitabilité illustre le degré de diversité atteint pour chaque quadrat par rapport au maximum théorique (Figure 13) (Faurie, 2011).

- **Des données quantitatives liées aux caractéristiques de l'entomofaune**

On distingue deux indicateurs représentatifs d'une partie de la biodiversité, l'**abondance** et la **richesse spécifique**. Ces deux indicateurs sont des données de comptage et suivent théoriquement une loi de poisson. **L'indice de Shannon** a par ailleurs été calculé à chaque date pour chaque piège. Cet indice ne suit aucune loi de distribution connue.

- **Des données quantitatives liées aux caractéristiques climatiques**

Les **données climatiques** disponibles sont des relevés journaliers. Nos pièges pour échantillonner la faune auxiliaire étant laissés entre 2 et 5 jours, nous avons en réalisé : **(1)** une moyenne sur la durée considérée de la température et la vitesse moyenne du vent. **(2)** un cumul des précipitations.

## 2) Les analyses statistiques

- **Analyses statistiques des variables de suivi des auxiliaires**

Toutes les analyses sont réalisées avec le logiciel R (version 4.0.5). Des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) de régression de Poisson ont été mis en place pour évaluer les effets de plusieurs variables explicatives sur les abondances et les richesses des auxiliaires. Les variables explicatives considérées sont les suivantes : Système, Type de piège, Couleur du piège, Année, Saison, Bloc. Trois hypothèses sont vérifiées pour chaque modèle : **(1)** Les réponses suivent une loi de Poisson, hypothèse supposée pour des données de comptage. **(2)** Il n'existe pas de surdispersion : nous utilisons un modèle de régression de type binomial négative dans le cas contraire. **(3)** Les données sont indépendantes. En cas de dépendance, il faut intégrer cet aspect en rajoutant des effets aléatoires dans le modèle. Deux aspects ont été étudiés : depuis 2019 les mêmes placettes sont suivies, pouvant créer un lien entre les variables d'une même placette à des dates différentes. Nous supposons ici que les relevés sont suffisamment espacés dans le temps pour qu'il n'y ait pas d'influence. Par ailleurs, les placettes présentes dans un même bloc peuvent être corrélées entre elles. Plus particulièrement ici, les blocs des témoins (nommés 4,5,6 comme spécifié en Figure 7) sont uniquement des répétitions du système Témoin Tviti. Cette dépendance doit être intégrée en ajoutant le bloc en effet aléatoire.

### **Indice de Shannon**

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

avec  $i$  = l'espèce n° $i$ ,  $p_i$  la proportion relative de l'espèce  $i$  et  $S_{obs}$  la richesse spécifique observée. Cet indice varie entre 0 (une communauté avec une seule espèce) et  $\log$ [richesse spécifique] (une communauté où les espèces ont toutes des taux de recouvrement similaires).

### **Indice de Piélou**

#### **Equitabilité**

$$E = H' / \log(S)$$

avec  $H'$  l'indice de Shannon pour ce quadrat et  $S$  = la richesse spécifique

Figure 13 : Formules des indicateurs de Shannon et de Piélou.

Les modèles, réalisés avec le package "stat", ne présentent pas toutes les interactions entre les nombreuses variables explicatives selon le principe de parcimonie. Les équations des modèles sont détaillées dans la Figure 14. Pour chaque variable à expliquer, l'AIC (Akaike Information Criterion) est utilisée pour sélectionner le modèle qui minimise la perte d'information par rapport au "vrai modèle" qui a généré les données. Des Anova (test du  $\chi^2$ ) sont ensuite réalisées pour chaque modèle à l'aide du package « car ». L'objectif est d'étudier si pour chaque facteur retenu, au moins une des modalités est significativement différente des autres. Lorsque les conditions requises pour valider l'Anova ne sont pas vérifiées, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis est réalisé. Les moyennes sont par la suite comparées deux à deux avec l'approche de Tukey, en utilisant la fonction « glht » du package « multcomp ».

Nous avons tout d'abord observé d'une manière générale l'effet des variables explicatives sur les différents indicateurs représentatifs de la biodiversité de la faune sur trois ans à une même période (juin, seule date constante sur les trois années). Suite à l'observation d'une forte interaction Année : Système, il a été décidé de (1) cumuler les variables de biodiversité de la faune des différentes années sur chaque placette. Nous avons considéré pour ce cumul uniquement les années 2020 et 2021 : l'année 2019 correspond aux premières mesures après plantation et présentait des données aberrantes pour certaines variables. (2) étudier plus précisément une année pour passer outre les variations annuelles. Nous étudierons l'année 2021 car l'échantillonnage est plus complet et la saison est plus propice pour suivre la faune auxiliaire. Lors de l'étude de l'année 2021, un cumul a aussi été réalisé pour limiter les interactions Mois : Système observées.

- **Analyses statistiques des variables de suivi des couverts végétaux**

Nous avons d'abord réalisé des **Analyses de la variance** pour les indices de la biodiversité taxonomique des couverts afin d'étudier les différences entre systèmes. Lorsque les conditions requises pour valider l'Anova n'étaient pas vérifiées, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis était réalisé. Enfin, une analyse post-hoc avec un test de Tukey est réalisé.

Des **matrices de dissemblances** ont été calculées, permettant de quantifier la ressemblance entre des communautés des couverts des différents systèmes. Les données pour ces matrices sont quantitatives, nous avons utilisé la matrice de **Dissimilarité de Bray-Curtis**, réalisée avec le package « vegan ». Des analyses de proximité (NMDS) ont ensuite été effectuées pour représenter graphiquement les proximités à l'aide de la matrice construite dans un espace de dimension réduite.

- **Les facteurs influençant la composition des communautés des auxiliaires : Analyses en Composantes Principales (ACP)**

Les ACP (**Analyses en Composantes Principales**) ont été réalisées à l'aide des packages « FactoMineR » et « factoextra ». Les axes ont été construits avec toutes les variables de biodiversité de la faune auxiliaire. Deux aspects ont été étudiés : le rôle des variables climatiques, et la biodiversité observée dans les couverts végétaux.

### **Equations des modèles réalisés**

**Pour des dates fixes : Variable à expliquer ~ Système + Type de piège + Couleur du piège + 1|Bloc**

**Pour plusieurs dates :**

- Variable à expliquer ~ Système + Type de piège + Année + Couleur du piège + Année : Système + 1|Bloc

- Variable à expliquer ~ Système + Type de piège + Mois + Couleur du piège + Année : Système + 1|Bloc

Figure 14 : Formules des équations utilisées lors de l'analyse de la faune auxiliaire

Pour ces deux aspects, les variables ont été rajoutées une fois les axes principaux construits en tant que variables supplémentaires afin d'observer l'existence potentielle de corrélations.

### III- Résultats

#### A) Effet du type d'échantillonnage

La Figure 15 représente le nombre d'insectes totaux moyen capturés tout au long des différents mois d'échantillonnage. On observe une décroissance d'avril à août, avec un nombre de capture moyen similaire en avril et en mai (supérieur à 15 individus par piège), un nombre moyen moins important en juin (en moyenne 8.2 individus) et une baisse de capture en juillet et en août, quasi nulle.

La Figure 16 présente les différences de nombre d'insectes attrapés totaux et des groupes taxonomiques entre les pièges barber et les coupelles pour les 9 dates totales d'échantillonnages. Les pièges coupelles, composées de six coupelles de différentes couleurs, capturent plus d'insectes, tout groupe taxonomique confondu, que les pots barber. En distinguant la couleur des pièges (Figure 17) on observe des résultats plus nuancés : le nombre moyen de capture dans les pots barber sont plus faibles que les coupelles pour les araignées, les coléoptères, les opilions et les diptères. Il n'y a pas de différences significatives concernant les captures des Hyménoptères. Enfin, les coupelles jaunes capturent significativement plus de coléoptères que les pièges d'autres couleurs, mais il n'existe pas d'autres différences significativement.

#### B) Effet des systèmes de culture sur la faune auxiliaire

Au cours des neuf échantillonnages effectués depuis 2019, 16 955 individus ont été capturés, appartenant à 156 genres et 10 ordres. Nous avons tout d'abord observé d'une manière globale l'effet des variables explicatives sur les différents indicateurs représentatifs de la biodiversité de la faune auxiliaire sur trois ans à la même période (juin) (Annexe VI). On observe des effets significatifs du système, de l'année avec un fort effet significatif de l'interaction entre les systèmes et l'année. Nous avons alors adopté deux stratégies : (1) Cumuler les variables de biodiversité de la faune de 2020 et 2021 (uniquement le mois de juin, seule date commune aux deux années). (2) Étudier l'année 2021, la dernière année plus complète avec des saisons d'études plus propices au suivi de la faune.

- **Étude de l'année 2020 et 2021 cumulées pour limiter l'effet « Année »**

Les résultats des Anovas et des tests post-hoc réalisés sur les 14 variables de la faune auxiliaire sont présentés sur la Figure 18. On observe des différences significatives pour la variable explicative « Système » pour 7 variables : **Richesse prédateur, abondance prédateur, abondance pollinisateur, abondance opilion, abondance hyménoptère, abondance coléoptère et abondance araignée.** Le tableau II représente le détail des résultats des Anova et des tests non paramétriques lorsque les conditions n'étaient pas vérifiées. On observe :

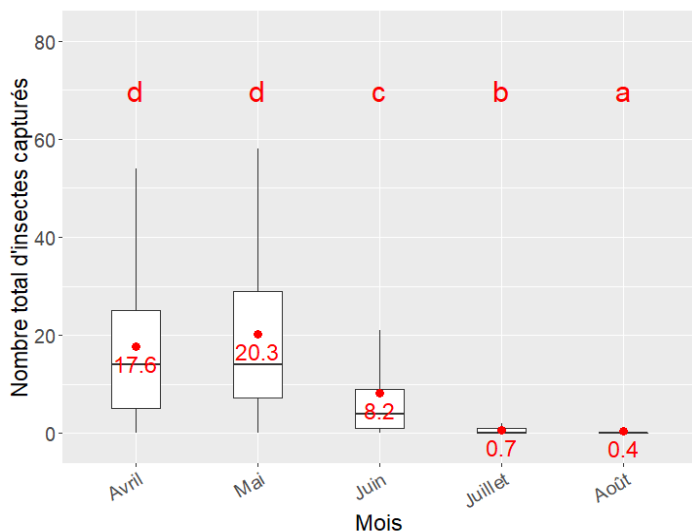
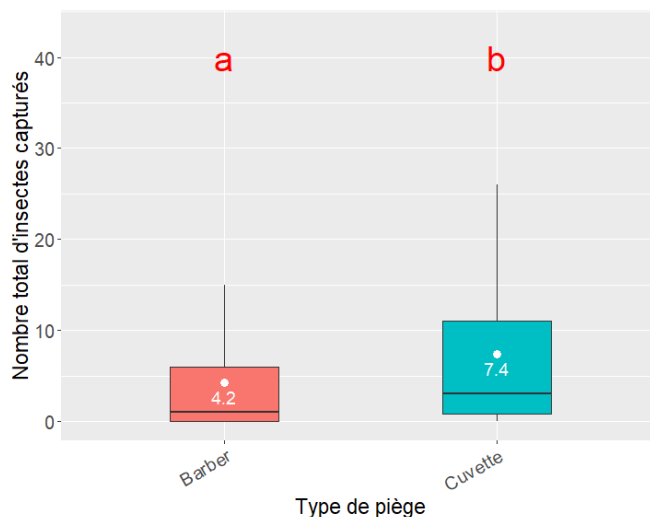


Figure 15 : Boxplot du nombre total d'insectes (uniquement les groupes identifiés dès 2019 et 2020) capturés selon les mois échantillonnés.

Les moyennes sont indiquées par un point rouge. Des lettres différentes indiquent que les modalités sont statistiquement différentes (résultats des tests de comparaison post-hoc de Tukey)



	Piège Barber	Piège Cuvette
Abondance Totale	4.30 ± 7.34 (a)	11.2 ± 32.43 (b)
Abondance Hyménoptère	1.21 ± 2.73 (a)	4.01 ± 5.34 (b)
Abondance Araignée	0.44 ± 0.84 (a)	1.78 ± 2.44 (b)
Abondance Coléoptère	0.24 ± 0.73 (a)	1.19 ± 2.4 (b)
Abondance Diptère	0.16 ± 0.56 (a)	4.82 ± 12.92 (b)

Figure 16 : Boxplot du nombre total d'insectes capturés selon le type de piège utilisé.

Les moyennes sont indiquées par un point blanc. Des lettres différentes indiquent que les modalités sont statistiquement différentes (résultats des tests de comparaison post-hoc de Tukey). Le tableau retranscrit les résultats des tests de comparaison post-hoc pour l'abondance des groupes taxonomiques.

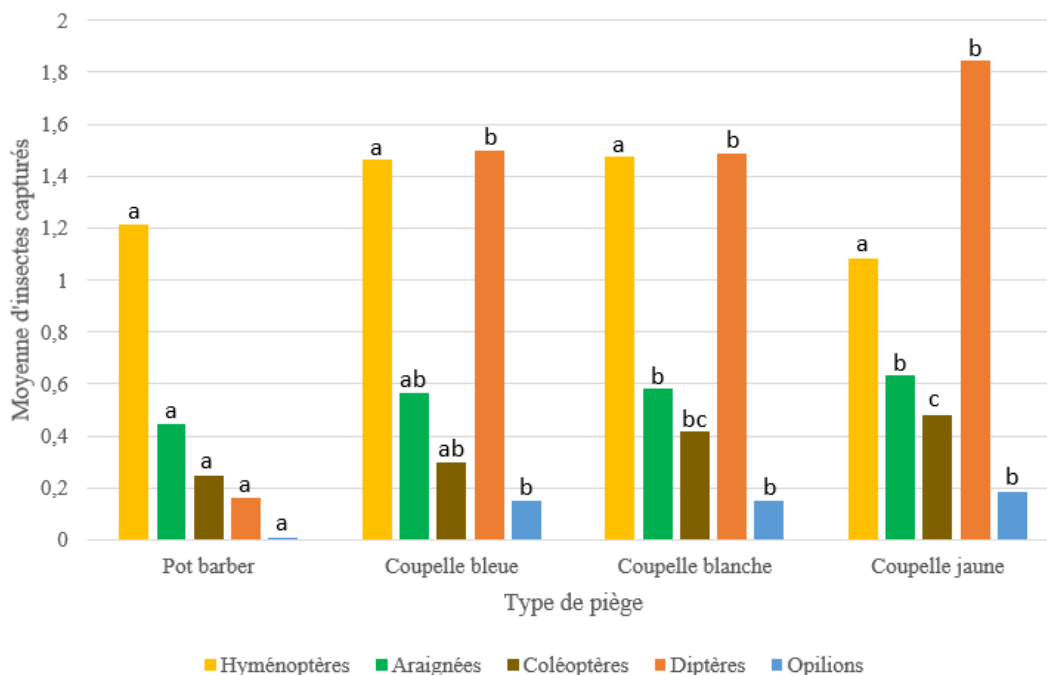


Figure 17 : Histogramme du nombre moyen d'insectes capturés selon le type et la couleur des pièges.

Pour un même ordre d'insecte (même couleur sur l'histogramme), des lettres différentes représentent une différence significative suite au test post-hoc ( $p$ -value < 0.05).



- **Pour les pollinisateurs et Hyménoptères :** (1) Une plus grande abondance de pollinisateurs dans le système Dviti que dans le système Dviti-Arbre. (2) Une plus grande abondance d'Hyménoptères dans le système Aviti par rapport au système Dviti-Arbre.

- **Chez les prédateurs et les auxiliaires se déplaçant au sol :** (3) Une plus grande abondance de prédateur dans le système Dviti-Arbre que dans tous les autres systèmes (Figure 19). (4) Une plus grande richesse de prédateur dans le système Dviti-Arbre que dans le système Dviti (5) Une plus grande abondance d'araignée dans le système Dviti-Arbre par rapport aux systèmes Aviti et Dviti. (6) Une plus grande abondance d'opilion dans le système Dviti-Arbre que dans tous les autres systèmes. (7) Une plus grande abondance de coléoptères dans le système Dviti que dans le système Aviti.

- **Étude spécifique de l'année 2021**

La Figure 20 représente les résultats des Anovas pour les richesses et abondance des différents groupes taxonomiques et fonctionnels étudiés. On observe uniquement 4 variables d'intérêt où le facteur "Système" est significatif : l'abondance totale, **l'abondance des phytophages, l'abondance des diptères et celle des coléoptères**. Le tableau III représente les moyennes et résultats des tests post-hoc effectués par la suite, dont **l'indice de Shannon** qui ne vérifiait pas les conditions requises pour réaliser une Anova, qui présente une différence significative entre système. On observe :

(1) Le nombre moyen de phytophages est plus important dans le système témoin que dans les autres système (Figure 21). Il est important de noter qu'aucune différence existe concernant la richesse de ces derniers.

(2) (3) Le nombre moyen de diptères et de coléoptères est plus important dans le système témoin que dans le système Dviti-Arbre.

(4) Le nombre moyen d'insectes totaux capturés est plus important dans le système témoin que dans les autres systèmes.

(5) Un indice de Shannon plus faible dans les systèmes Tviti et Aviti que dans les deux autres systèmes.

### **C) Effet du climat sur la faune auxiliaire**

- **Description du climat**

Les variables climatiques sur les trois années étudiées sont représentées en Annexe VII. On observe globalement une année plus chaude en 2019 et une année plus pluvieuse en 2021. Pendant les différentes sessions d'échantillonnage de la faune auxiliaire on observe des précipitations journalières entre 0 et 15 mm, avec un maximum observé le 04/07/2021. Les maximums de températures (maximales, minimales et moyennes journalières) ont été atteints en juin 2019 pendant la première session d'échantillonnage, notamment le 28/06/2019 avec une température maximale de 43.3 °C, une température minimale de 21.9 °C et une température moyenne de 33.1 °C. Enfin, la vitesse moyenne du vent maximale a été atteinte le 05/09/2019 à la fin du dernier échantillonnage de l'année 2019 avec 13.6 km/h.

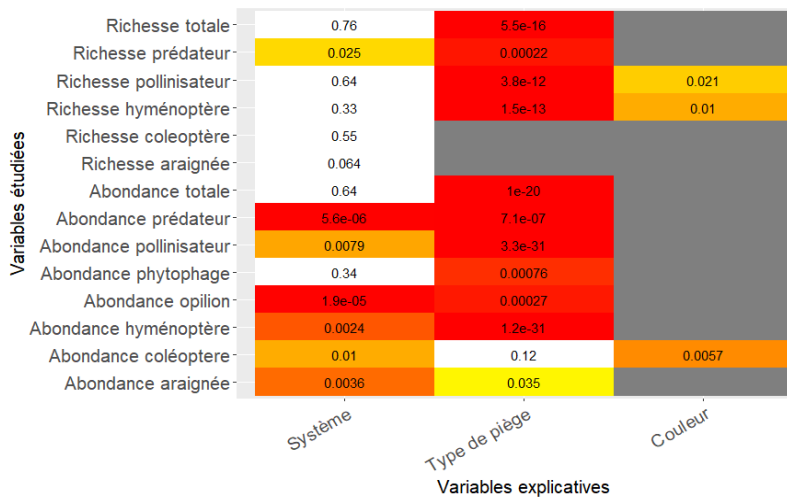


Figure 18 : Résultats des Anovas cumulées des variables Faune (2020-2021)

Une  $p$ -value  $< 0.05$  signifie qu'au moins une des modalités est significativement différentes des autres. Les valeurs en blanc ne sont pas significatives. Les valeurs rouges sont les plus significatives et les cases grises sont non renseignées (Le modèle sélectionné ne comprenait pas la variable explicative).

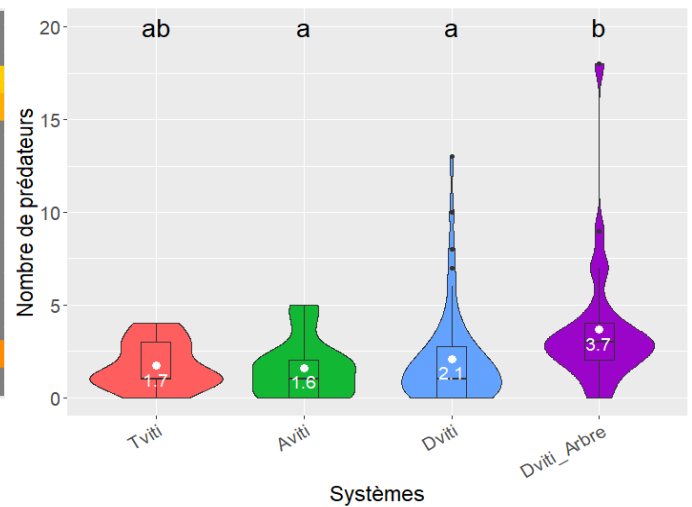


Figure 19 : Boxplot et violinplot du nombre moyen de prédateurs capturés selon les différents systèmes.

Des lettres différentes indiquent une  $p$ -value  $< 0.05$  suite au test post-hoc.

Tableau II : Moyennes  $\pm$  écart-types et résultats des tests post-hoc (Tukey) (cumul des échantillonnages de juin 2020 et 2021 des variables représentatives de la faune auxiliaire)

Bleu : groupe fonctionnel ; vert : groupe taxonomique. Les lignes grisées correspondent à des données avec trop peu de comptages et d'identifications à un niveau taxonomique suffisant pour pouvoir réaliser des analyses statistiques. Les indicateurs en gras présentent au moins une modalité significativement différente des autres. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p$ -value  $< 0.05$ ).

	Tviti	Aviti	Dviti	Dviti_Arbre
Abondance prédateur	<b>1.73 <math>\pm</math> 1.28 (ab)</b>	<b>1.6 <math>\pm</math> 1.56 (a)</b>	<b>2.074 <math>\pm</math> 2.6 (a)</b>	<b>3.66 <math>\pm</math> 3.5 (b)</b>
Abondance pollinisateur	<b>3.15 <math>\pm</math> 1.8 (ab)</b>	<b>5.12 <math>\pm</math> 5.17 (ab)</b>	<b>6.01 <math>\pm</math> 5.5 (a)</b>	<b>4.29 <math>\pm</math> 3.8 (b)</b>
Abondance phytophage	4.15 $\pm$ 3.34 (a)	3.3 $\pm$ 5.15 (a)	3.7 $\pm$ 4.7 (a)	2.9 $\pm$ 2.7 (a)
Richesse prédateur	<b>1.48 <math>\pm</math> 1.06 (ab)</b>	<b>1.42 <math>\pm</math> 1.37 (ab)</b>	<b>1.59 <math>\pm</math> 1.6 (a)</b>	<b>2.44 <math>\pm</math> 1.42 (b)</b>
Richesse pollinisateur	2.27 $\pm$ 1.15 (a)	2.78 $\pm$ 2.05 (a)	2.9 $\pm$ 1.91 (a)	2.55 $\pm$ 1.62 (a)
Richesse phytophage				
Abondance hyménoptère	<b>2.15 <math>\pm</math> 1.5 (ab)</b>	<b>4.66 <math>\pm</math> 4.87 (a)</b>	<b>4.57 <math>\pm</math> 4.69 (ab)</b>	<b>3.44 <math>\pm</math> 3.32 (b)</b>
Richesse hyménoptère	1.6 $\pm$ 0.99 (a)	2.33 $\pm$ 1.84 (a)	2.07 $\pm$ 1.69 (a)	2.14 $\pm$ 1.35 (a)
Abondance araignée	<b>1.6 <math>\pm</math> 1.14 (ab)</b>	<b>1.15 <math>\pm</math> 1.43 (a)</b>	<b>1.53 <math>\pm</math> 1.83 (a)</b>	<b>2.4 <math>\pm</math> 2.15 (b)</b>
Richesse araignée	1.36 $\pm$ 0.89 (a)	1.09 $\pm$ 1.28 (a)	1.22 $\pm$ 1.26 (a)	1.85 $\pm$ 1.16 (a)
Abondance coléoptère	<b>1.66 <math>\pm</math> 1.1 (ab)</b>	<b>0.96 <math>\pm</math> 0.88 (a)</b>	<b>1.9 <math>\pm</math> 1.67 (b)</b>	<b>1.4 <math>\pm</math> 1.64 (ab)</b>
Richesse coléoptère	1.12 $\pm$ 0.69 (a)	0.9 $\pm$ 0.84 (a)	1.16 $\pm$ 0.84 (a)	0.88 $\pm$ 1.01 (a)
Abondance diptère				
Richesse diptère				
Abondance opilion	<b>0.03 <math>\pm</math> 0.17 (a)</b>	<b>0.39 <math>\pm</math> 0.74 (a)</b>	<b>0.42 <math>\pm</math> 0.98 (a)</b>	<b>1.18 <math>\pm</math> 1.64 (b)</b>
Richesse opilion				
Abondance totale	15.33 $\pm$ 9.25 (a)	15.42 $\pm$ 18.61 (a)	18.6 $\pm$ 19.01 (a)	15.18 $\pm$ 10.67 (a)
Richesse totale	6.72 $\pm$ 2.28 (a)	6.3 $\pm$ 3.98 (a)	7.07 $\pm$ 3.71 (a)	7.48 $\pm$ 3.23 (a)
Indice de Shannon	0.9 $\pm$ 0.65 (a)	0.76 $\pm$ 0.64 (a)	0.84 $\pm$ 0.65 (a)	0.78 $\pm$ 0.68 (a)

- **Des corrélations avec les communautés d'arthropodes capturées**

Le résultat de l'ACP réalisée avec les variables étudiées de la faune auxiliaire et les variables climatiques est présenté sur la Figure 22. 76.80% de la variance est expliquée par les trois premiers axes, mais un effet taille est observé sur l'axe 1. Un effet taille existe lorsque les variables étudiées sont toutes du même côté de l'axe et participent à son élaboration de la même manière : on ne peut alors observer aucune corrélation. Ainsi seulement le plan des axes 2,3 a été représenté (Figure 22). L'axe 2 explique 26.3 % de la variance et l'axe 3 explique 13.8% de la variance.

On retrouve sur le graphique seulement les variables bien représentées par ces axes. On observe une corrélation positive entre : (1) La vitesse moyenne du vent et l'abondance et la richesse des prédateurs, des araignées, des opilions (2) Les températures moyennes, minimales et maximales et l'abondance des pollinisateurs, Hyménoptère et leurs richesses associées. (3) Les précipitations et l'abondance des coléoptères, des phytophages et leurs richesses associées. Enfin, on observe une corrélation négative entre l'abondance totale et les précipitations.

#### **D) Effet du couvert sur la faune auxiliaire**

- **Description des couverts**

Les principales espèces retrouvées en avril et en juin sont détaillées sur la Figure 23. On retrouve beaucoup d'espèces spontanées, notamment *Helminthoteca echioides* en espèce dominante pour les trois systèmes agroécologiques. Les autres espèces varient selon les systèmes, mais on observe que les espèces semées dominant très peu les couverts, à part *Hordeum vulgare* pour le système Aviti et Dviti. Le système Tviti est caractérisé par un grand pourcentage de sol nu.

Les différents indices taxonomiques sont assez semblables selon les systèmes (Figure 24). Les trois systèmes agroécologiques ne présentent pas de différences entre eux, et le système témoin est quant à lui très différent : on observe une plus faible richesse spécifique, et un plus faible indice de Shannon. La matrice de Bray Curtis représentée Figure 25 avec le NMDS montre des différences similaires : les quadrats des témoins sont représentés par des points très rapprochés, en rouge, et sont donc très proches d'un point de vue taxonomique. Les quadrats des autres systèmes sont quant à eux tous semblables, comme l'indique la superposition des ellipses des systèmes Aviti, Dviti et Dviti-Arbre.

Il existe par ailleurs un effet de la période d'échantillonnage, c'est-à-dire entre avril, avant une tonte des couverts en mai, et juin, après ladite tonte. Un traitement d'herbicide a par ailleurs eu lieu sur Tviti en mai. Ces différences sont visibles en Annexe VIII. En juin, on retrouve uniquement du sol nu sur le système Tviti, et un nombre d'espèces moins important dans les systèmes agroécologiques. En avril, on note une légère différence sur la matrice de Bray-Curtis entre les couverts spontanés du système Dviti-Arbre par rapport au couverts semés des systèmes Aviti et Dviti : les points du système Dviti-Arbre se rejoignent en bas de l'axe des ordonnées sur le graphique. A part ces différences, les caractéristiques des couverts sont semblables entre Avril

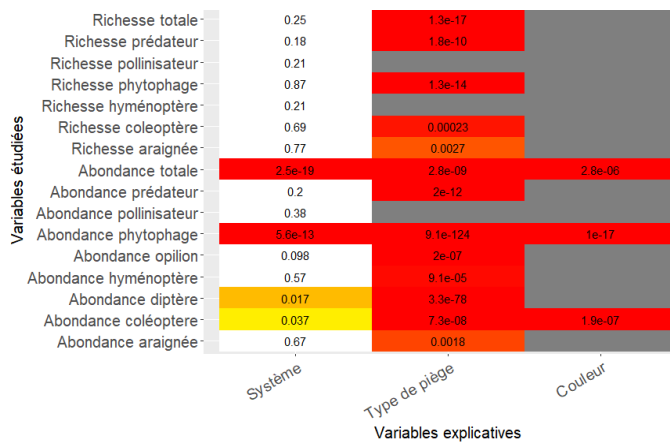


Figure 20 : Résultats des Anovas cumulées des variables Faune (2021)

Une  $p$ -value  $< 0.05$  signifie qu'au moins une des modalités est significativement différentes des autres. Les valeurs en blanc ne sont pas significatives. Les valeurs rouges sont les plus significatives et les cases grises sont non renseignées (Le modèle sélectionné ne comprenait pas la variable explicative).

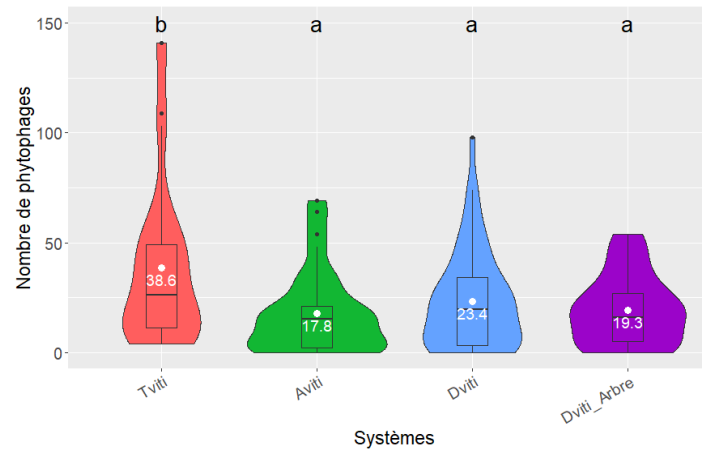


Figure 21 : Boxplot et violinplot du nombre moyen de phytophages capturés selon les différents systèmes.

Des lettres différentes indiquent une  $p$ -value  $< 0.05$  suite au test post-hoc.

Tableau III : Moyennes  $\pm$  écart-types et résultats des tests post-hoc (Tukey) (cumul 2021) des variables représentatives de la faune auxiliaire

(bleu : groupe fonctionnel ; vert : groupe taxonomique). Les lignes grisées correspondent à des données avec trop peu de comptages et d'identifications à un niveau taxonomique suffisant pour pouvoir réaliser des analyses statistiques. Les indicateurs en gras présentent au moins une modalité significativement différente des autres. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p$ -value  $< 0.05$ ).

	Tviti	Aviti	Dviti	Dviti_Arbre
Abondance prédateur	3.33 $\pm$ 2.74 (a)	2.93 $\pm$ 2.63 (a)	4.05 $\pm$ 3.34 (a)	3.41 $\pm$ 2.46 (a)
Abondance pollinisateur	4.21 $\pm$ 4.05 (a)	2.93 $\pm$ 2.99 (a)	2.6 $\pm$ 3.14 (a)	2.25 $\pm$ 2.9 (a)
Abondance phytophage	<b>38.63 <math>\pm</math> 37.43 (b)</b>	<b>17.75 <math>\pm</math> 18.86 (a)</b>	<b>23.35 <math>\pm</math> 22.32 (a)</b>	<b>19.33 <math>\pm</math> 16.07 (a)</b>
Richesse prédateur	2.84 $\pm$ 2.13 (a)	2.54 $\pm$ 2.19 (a)	3.46 $\pm$ 2.76 (a)	2.70 $\pm$ 1.99 (a)
Richesse pollinisateur	2.18 $\pm$ 1.79 (a)	2.09 $\pm$ 2.02 (a)	1.72 $\pm$ 1.87 (a)	1.70 $\pm$ 1.81 (a)
Richesse phytophage	3.57 $\pm$ 1.19 (a)	3.33 $\pm$ 1.97 (a)	3.98 $\pm$ 2.21 (a)	3.74 $\pm$ 1.91 (a)
Abondance hyménoptère	6.45 $\pm$ 4.18 (a)	6.12 $\pm$ 4.92 (a)	5.6 $\pm$ 4.74 (a)	5.18 $\pm$ 3.1 (a)
Richesse hyménoptère	3.54 $\pm$ 1.73 (a)	2.81 $\pm$ 1.91 (a)	2.37 $\pm$ 2.02 (a)	2.37 $\pm$ 1.77 (a)
Abondance araignée	2.33 $\pm$ 2.05 (a)	2.12 $\pm$ 2.17 (a)	2.51 $\pm$ 2.24 (a)	2.70 $\pm$ 2.28 (a)
Richesse araignée	2.03 $\pm$ 1.61 (a)	1.84 $\pm$ 1.67 (a)	2.27 $\pm$ 1.85 (a)	2.14 $\pm$ 1.89 (a)
Abondance coléoptère	<b>2.45 <math>\pm</math> 2.25 (b)</b>	<b>1.78 <math>\pm</math> 1.78 (ab)</b>	<b>2.44 <math>\pm</math> 2.11 (ab)</b>	<b>1.66 <math>\pm</math> 1.81 (a)</b>
Richesse coléoptère	1.33 $\pm$ 0.92 (a)	1.18 $\pm$ 1.10 (a)	1.44 $\pm$ 1.16 (a)	1.14 $\pm$ 1.19 (a)
Abondance diptère	<b>14.96 <math>\pm</math> 13.93 (b)</b>	<b>9.21 <math>\pm</math> 10.91 (ab)</b>	<b>11.62 <math>\pm</math> 11.08 (ab)</b>	<b>8.81 <math>\pm</math> 6.66 (a)</b>
Richesse diptère				
Abondance opilion	0.42 $\pm$ 0.7 (a)	0.27 $\pm$ 0.57 (a)	0.55 $\pm$ 0.92 (a)	0.14 $\pm$ 0.76 (a)
Richesse opilion				
Abondance totale	<b>187.24 <math>\pm</math> 71.19 (b)</b>	<b>87.91 <math>\pm</math> 57.05 (a)</b>	<b>88.35 <math>\pm</math> 60.84 (a)</b>	<b>66.59 <math>\pm</math> 29.58 (a)</b>
Richesse totale	14.27 $\pm$ 3.73 (a)	12.24 $\pm$ 4.84 (a)	14.03 $\pm$ 5.82 (a)	12.85 $\pm$ 4.25 (a)
Indice de Shannon	<b>1.04 <math>\pm</math> 0.50 (a)</b>	<b>1.005 <math>\pm</math> 0.60 (a)</b>	<b>1.26 <math>\pm</math> 0.62 (b)</b>	<b>1.25 <math>\pm</math> 0.58 (b)</b>

et Juin : le système témoin est très différent des autres avec une structure de l'interrang pauvre en richesse et diversité.

- **Des corrélations avec les communautés d'arthropodes capturées**

Nous nous sommes par la suite intéressés à l'impact que peuvent avoir ces couverts végétaux sur la biodiversité de la faune auxiliaire observée. Nous avons pour cela réalisé une Analyse en Composante Principale dont le graphique des variables est présenté en Figure 26. L'ACP est réalisée avec les variables étudiées de la faune auxiliaire et les variables représentatives de la biodiversité des couverts sont ajoutées en tant que variables supplémentaires. 63.9 % de la variance est expliquée par les trois premiers axes, mais là encore un effet taille est observé sur l'axe 1, rendant impossible son analyse selon les effets étudiés.

Le plan des axes 2,3 (Figure 26) explique 25.7% de la variance, ce qui est peu. Seules les variables suffisamment bien représentées par les axes sélectionnés sont affichées. Des informations ressortent néanmoins en les analysant : **(1)** Il existe une corrélation positive entre l'abondance des Hyménoptères, des pollinisateurs et leur richesse associées avec des traits floraux : la couleur de fleur jaune, un type de pollinisation entomogame et une inflorescence en racème de capitule. **(2)** Il existe une corrélation négative entre l'abondance des Hyménoptères, des pollinisateurs et leur richesse associées et la hauteur florale. **(3)** Il existe une corrélation positive entre l'abondance et la richesse des opilions et la hauteur florale et l'équitabilité des couverts. **(4)** Enfin, aucune corrélation n'est observée entre les différentes variables de la faune la richesse spécifique des couverts.

## **IV- Discussion**

La diversification des systèmes viticoles présente un fort levier pour diminuer le nombre de traitements phytosanitaires. Il est alors pertinent d'étudier l'impact de cette diversification sur la biodiversité de la faune auxiliaire : l'objectif est d'étudier des groupes taxonomiques de niveau supérieur (ici l'ordre) et les groupes fonctionnels pour observer les changements globaux de leur diversité.

### **A) Effet de la diversification végétale sur la biodiversité des auxiliaires après 2 ans**

- **Des corrélations entre diversification végétale et biodiversité de la faune auxiliaires**

#### Effet du gradient de diversification sur une saison fixe, juin 2020 et 2021

Lorsque l'on étudie l'effet de la diversification végétale une fois les échantillonnages de juin 2020 et 2021 cumulés, des différences entre systèmes ressortent, dont certaines en cohérences avec les hypothèses de l'impact d'une diversification végétale sur les auxiliaires évoquées dans la synthèse bibliographique :

On observe des plus grandes abondances et richesses de prédateurs dans le système Dviti-Arbre, présentant le plus haut niveau de diversification. Ces résultats sont en cohérence avec l'hypothèse de spécialisation des ressources (Hutchinson, 1959) : une diversification végétale augmente la diversité de ressources alimentaires et ainsi le nombre de prédateurs différents (richesse) pouvant se nourrir. L'hypothèse du « plus d'individus » stipule aussi que la diversité végétale permet à un plus grand nombre d'individus de se nourrir, permettant par un effet « bottom up » à une plus grande abondance de prédateurs de se développer (Srivastava et Lawton, 1998). Ces hypothèses sont aussi en accord avec l'observation de plus d'araignées et d'opilions (prédateurs généralistes) dans les systèmes Dviti et Dviti-Arbre. Ces observations semblent valider en partie les

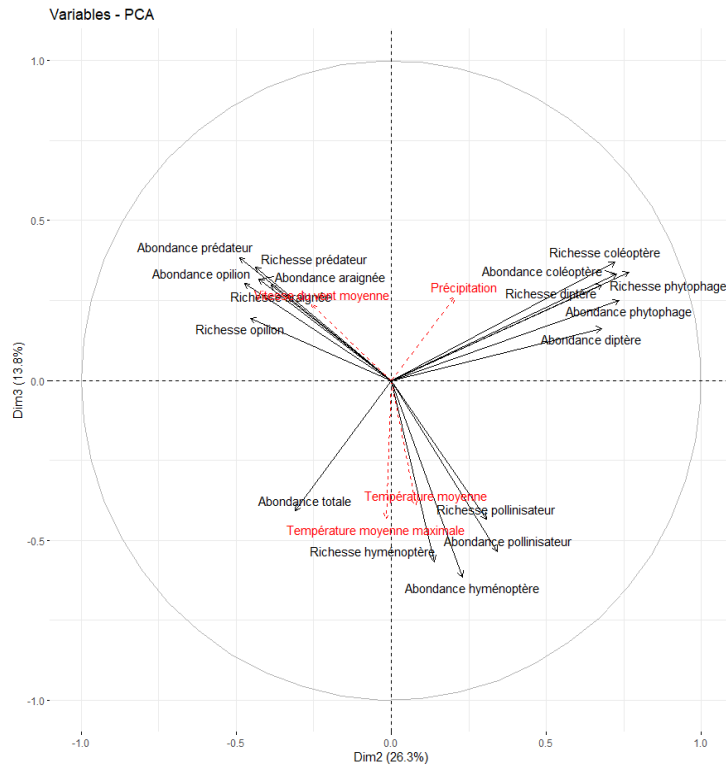


Figure 22 : Graphique des variables de l'Analyse en Composantes Principales des variables de la faune auxiliaire et des variables climatiques (Juin 2019 - 2020 - 2021)

Les variables climatiques, en rouge sur le graphique, sont supplémentaires et ne participent pas à l'élaboration des axes. Les variables positivement corrélées sont regroupées, les variables négativement corrélées sont positionnées sur les côtés opposés de l'origine. Les variables qui sont éloignées de l'origine sont bien représentées par l'ACP.

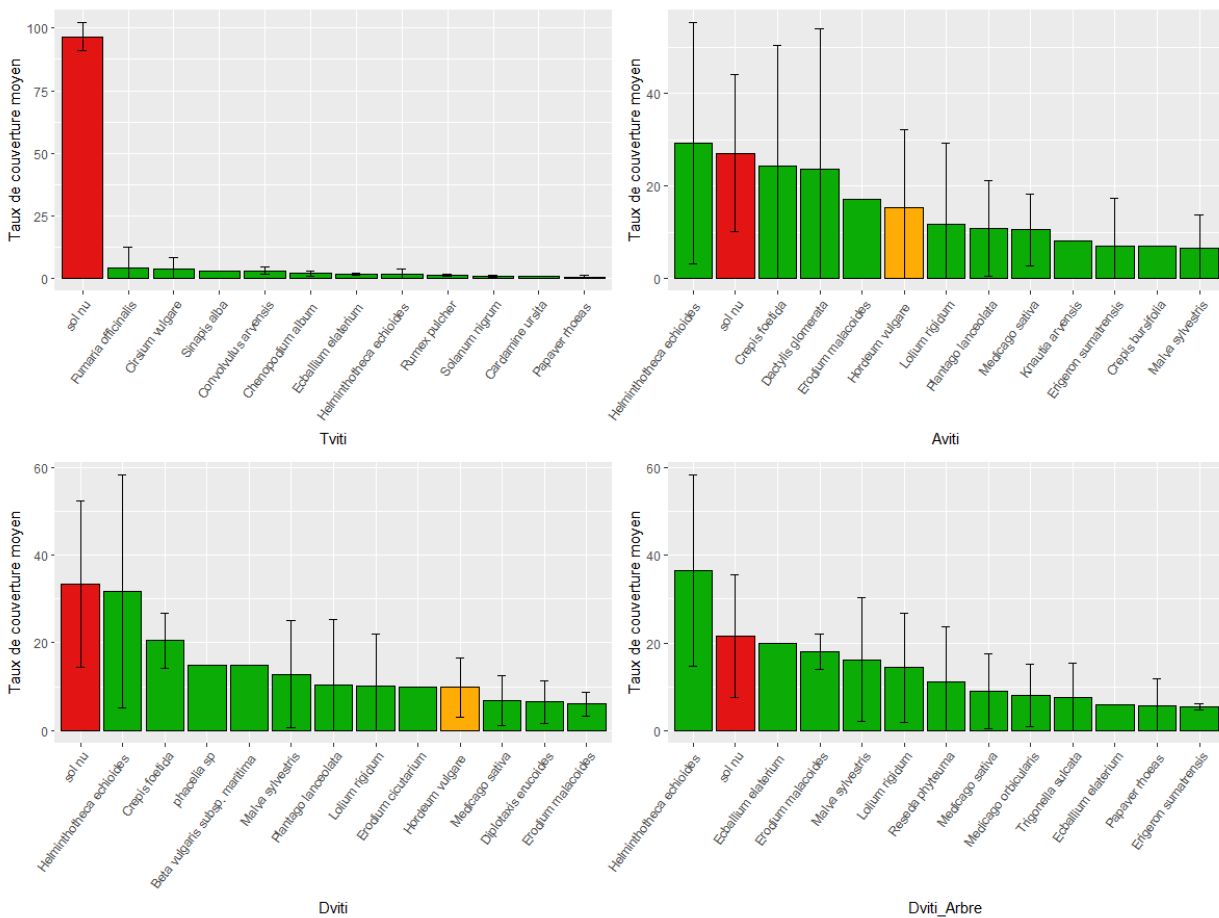


Figure 23 : Barplot du taux de recouvrement moyen des 12 espèces les plus présentes pour chaque système au mois d'avril et juin 2021.

Rouge : sol nu ; Vert : Espèces spontanées ; Jaune : Espèces semées.

hypothèses de notre étude, c'est-à-dire qu'une diversification végétale favorise la présence d'auxiliaires dans les vignobles. La diversification végétale du système Dviti-Arbre, le système le plus diversifié, est due à l'intégration de deux facteurs : la présence d'arbre et les couverts spontanés à leurs pieds. Il s'agira par la suite de savoir si ces deux facteurs participent de manière égale à l'augmentation d'ennemis naturels observés.

On observe un nombre moins important de pollinisateurs et d'Hyménoptères dans le système le plus diversifié, Dviti-Arbre. Il est important de noter que malgré ces différences significatives, le nombre de pollinisateurs moyen observés est relativement similaire entre ces systèmes :  $6.01 \pm 5.5$  pollinisateurs capturés par piège pour le système Dviti contre  $4.29 \pm 3.8$  pour le système Dviti-Arbre. Ce résultat est surprenant : il a été montré qu'augmenter la biodiversité végétale augmentait l'abondance et la richesse des abeilles (Kennedy et al., 2013). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces différences, notamment le biais d'échantillonnage : il a été montré que les taux de captures des Hyménoptères avec des pièges coupelles de couleur étaient plus faibles lorsque la richesse de plantes fleuries était la plus importante, les pollinisateurs étant alors plus attirés par les couleurs des fleurs présentant une source alimentaire (Wilson et al., 2008). Par ailleurs, ces résultats peuvent être expliqués par les multiples tontes effectuées en mai et juin 2020 et 2021 (Tonte 18/05/2020, Multi-clean 10/07/2020, Tonte 20/05/2021, Multi-clean 26/05/2021 sous les arbres seulement). L'absence de fleurs ne reflètent alors pas la réalité de la diversification souhaitée. Enfin, la distance de butinage des Hyménoptères est très variable et peut aller de quelques centaines de mètres pour les abeilles solitaires à plusieurs kilomètres pour les abeilles domestiques (Gathmann et Tscharrnke, 2002; Hagler et al., 2011). Le fait de capturer une abeille dans un système est peut-être dû uniquement au déplacement de cette dernière lors de sa recherche de nourriture.

#### Effet de la diversification des systèmes sur l'année 2021

Étudier l'année 2021 permet d'avoir un aperçu de l'effet du gradient de diversification sur la biodiversité de la faune auxiliaires deux ans après sa mise en place. 2021 est par ailleurs la première et unique année où les phytophages ont été identifiés par le prestataire. L'étude des échantillonnages de la faune auxiliaire cumulés sur 2021 présente peu de différences entre les systèmes. Une d'entre elle présente des différences cohérentes avec une hypothèse déjà évoquée : on observe une plus grande abondance de phytophages dans le système Tviti présentant un degré de diversification moins important. Cette observation est en accord avec l'hypothèse de la concentration de ressource qui indique que les herbivores sont attirés par des concentrations élevées de leur plantes hôtes (Root, 1973). A l'inverse, des milieux diversifiés créent des microclimats défavorables au développement de phytophages limitant leur développement (Vandermeer, 1992).

#### Des corrélations entre biodiversité végétale des couverts et de l'entomofaune

Lorsque l'on étudie les différences entre couverts, on observe tout d'abord une différence de communautés d'adventices entre le système Témoin et les autres Systèmes. Cette différence est due à un fort pourcentage de sol nu dans l'interrang au sein du système Témoin. Nous n'observons pas de différences entre les couverts spontanés (Dviti-Arbre) et les couverts semés (Aviti et Dviti) pour tous les indicateurs étudiés. Ces résultats ne sont pas en accord avec les hypothèses développées dans les travaux de Kazakou et al. (2016) qui prédisent une richesse spécifique plus importante dans les communautés des couverts spontanés que dans ceux

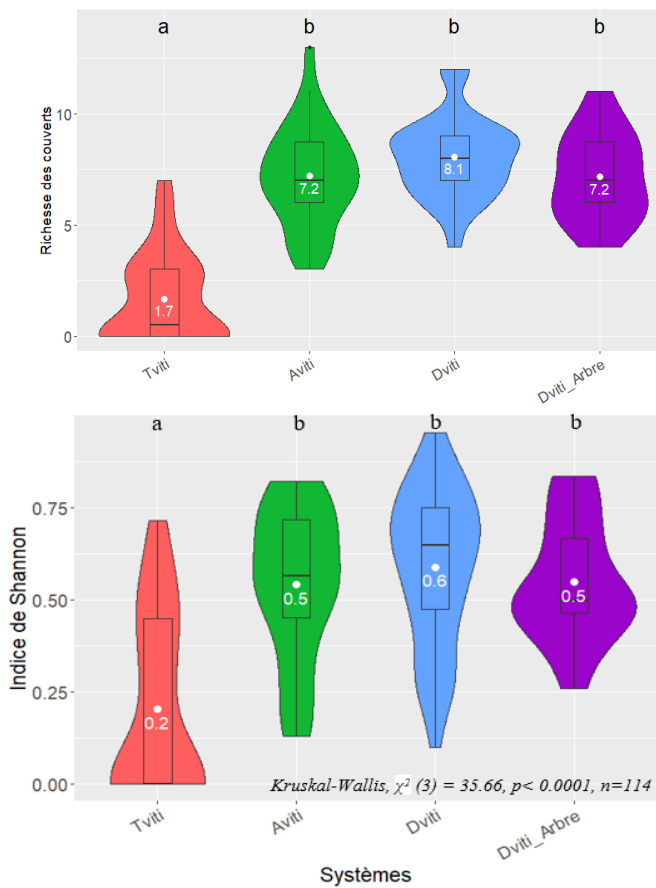


Figure 24 : Boxplot et violonplot des indicateurs de biodiversité des couverts selon les types de système. (a) : Richesse des couverts selon les systèmes. (b) Indice de Shannon selon les systèmes.

Des lettres différentes indiquent une  $p$ -value  $< 0.05$  suite au test post-hoc.

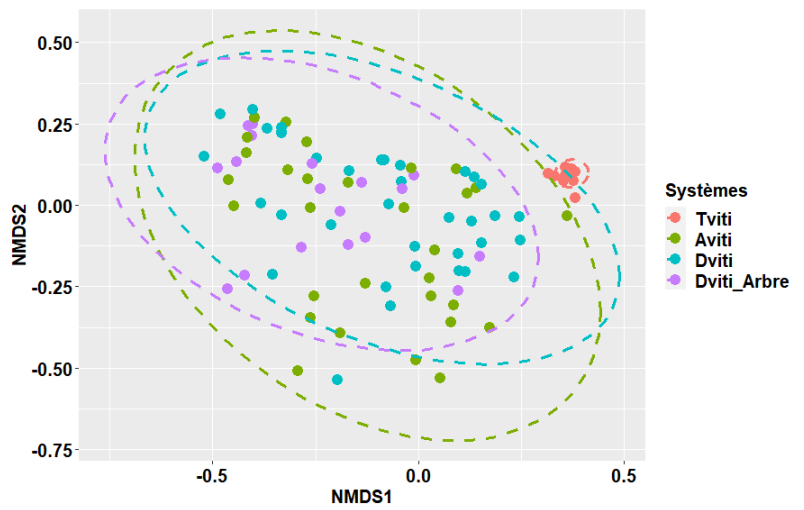


Figure 25 : Tracé de mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) de la composition taxonomique des couverts pour le mois d'avril et de juin 2021.

Un point représente la moyenne d'un quadrat sur les deux dates. Les quadrats qui se ressemblent d'avantages sont rapprochés. Les axes sont arbitraires, tout comme l'orientation du tracé.

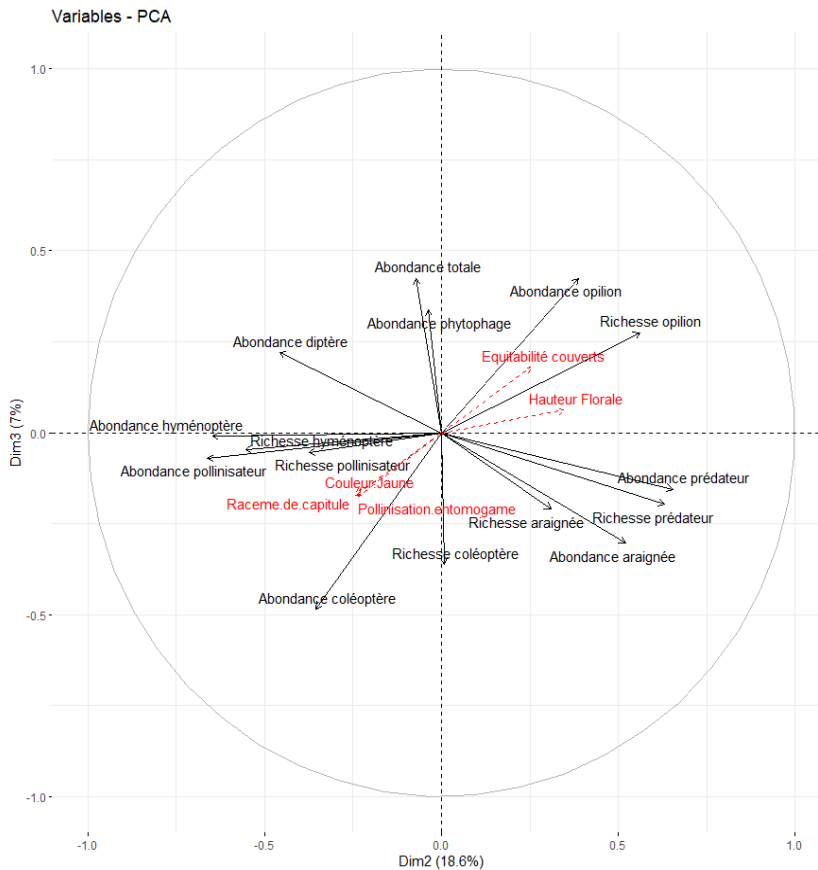


Figure 26 : Graphique des variables de l'Analyse en Composantes Principales des variables de la faune auxiliaire et des variables des couverts (Avril - Juin 2021) Les variables des couverts, en rouge sur le graphique, sont supplémentaires et ne participent pas à l'élaboration des axes. Les variables positivement corrélées sont regroupées, les variables négativement corrélées sont positionnées sur les côtés opposés de l'origine. Les variables qui sont éloignées de l'origine sont bien représentées par l'ACP.



semés (Figure 27). A des niveaux intermédiaires de perturbations et compétitions dans les couverts (couverts spontanés) on observe un phénomène de divergence des traits fonctionnels, permettant la cohabitation de multiples espèces (Kazakou et al., 2016). Ici, l'absence de différences observées pourrait s'expliquer par (1) le faible développement des espèces semées dans les interrangs, laissant la possibilité aux espèces spontanées de se développer (2) Des tontes des couverts en début de printemps, permettant alors le développement des espèces spontanées avant les caractérisations des couverts effectuées. Cette absence de différence entre les couverts semés des systèmes Aviti et Dviti et les couverts spontanés de Dviti-Arbre nous permet de supposer que l'observation d'une plus grande abondance de prédateur au sein du système Dviti-Arbre est peut-être due à la présence même des arbres.

Malgré cette absence de différence entre les couverts des systèmes étudiés, les résultats de l'ACP mettent en évidence des corrélations positives entre certaines caractéristiques des couverts et la faune observée, notamment des traits fonctionnels. La présence de fleurs entomogames sur la placette est corrélée positivement à la présence de pollinisateurs, notamment des Hyménoptères. Ce résultat est en cohérence avec Balzan et al. (2016), qui montre que la présence de fleurs sur la parcelle augmente les visites des Hyménoptères (Balzan et al., 2016). Nous observons aussi une corrélation positive entre ce même groupe et la présence de fleurs de couleur jaune. Le jaune est une couleur réputée pour attirer plusieurs familles d'insectes : la longueur d'onde de cette couleur stimulerait anormalement le récepteur du système nerveux des insectes leur permettant de discriminer les teintes du feuillage des autres teintes (Prokopy et Owens, 1983). Ces résultats préliminaires donnent un aperçu de l'impact que pourraient avoir les traits fonctionnels des plantes sur la visite et présence des auxiliaires et pollinisateur sur une parcelle.

- **Des causes multifactorielles de l'absence de différences de l'entomofaune entre systèmes**

Il existe sur la parcelle peu de variables caractéristiques de la biodiversité de l'entomofaune pour lesquelles le gradient de diversification impacte leur valeur. L'absence de différences n'indique pas pour autant l'inefficacité de la diversification végétale sur la biodiversité de la faune auxiliaire, de par les causes multifactorielles environnementales régissant leurs présences et activités :

Le choix du type de diversification : faible biodiversité des couverts et choix des essences des arbres

Il est important de souligner que la diversification fonctionnelle des espèces fleuries dans les couverts est plutôt faible : l'espèce avec le taux de recouvrement le plus important lors des relevés est *Helminthoteca echioides*, possédant des fleurs de couleur jaune et une inflorescence en capitule. Les traits fonctionnels observés sont donc peu diversifiés, pouvant donc masquer l'impact des traits floraux sur la présence de l'entomofaune capturée sur la placette.

Le choix des essences d'arbres utilisés en Agroforesterie sur la parcelle est lui aussi important. En effet, selon les essences sélectionnées et la culture associée, la présence d'arbre peut favoriser la présence d'ennemis naturels - comme observé dans ce mémoire - et/ou favoriser la présence de ravageurs de la culture associée (Sileshi et al., 2008).

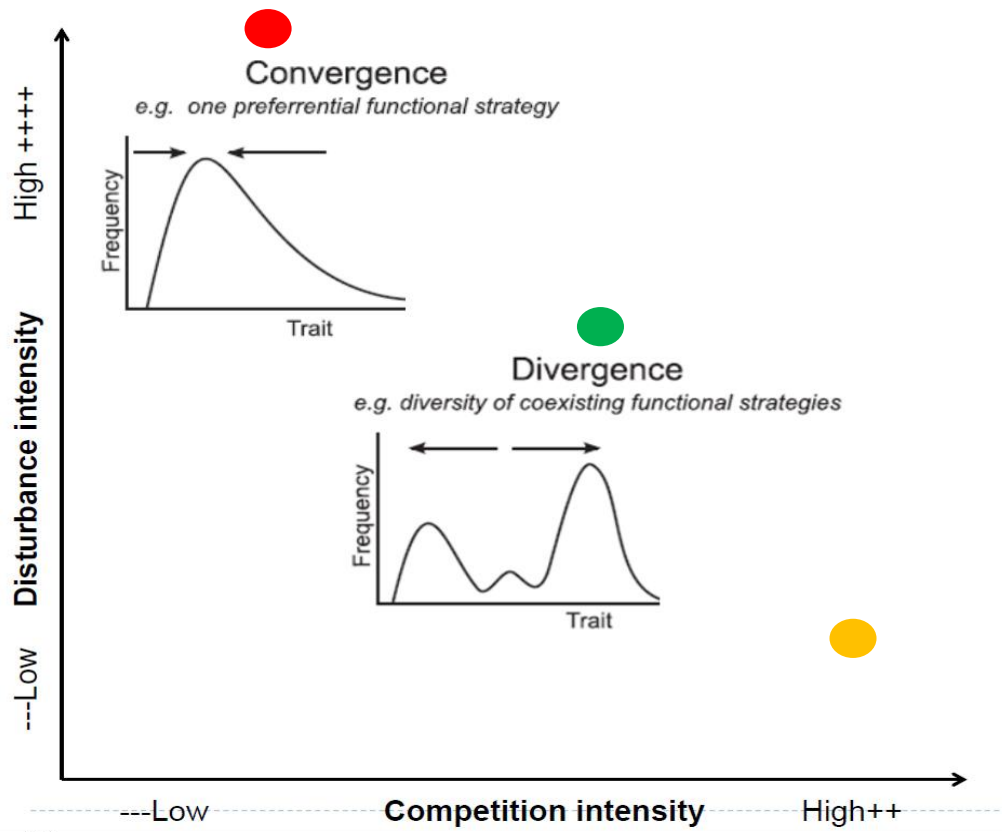


Figure 27 : Hypothèses du rôle des perturbations et de la compétition sur la richesse des couverts en viticulture. (Source : Kazakou et al. 2016)

Rouge : Travail du sol. Vert : Couvert spontané. Orange : Couvert semé

### Le climat, un facteur abiotique à l'origine de variations interannuelle

Lorsque l'on étudie l'impact du système sur la faune auxiliaire, on observe des interactions entre l'année, la saison et les systèmes étudiés. Cette différence peut en partie s'expliquer par des variations interannuelles du climat pouvant influencer les résultats des échantillonnages (Høye et Forchhammer, 2008). Il existe à ce jour peu d'études étudiant l'effet des facteurs climatiques sur le comportement et l'activité des arthropodes.

Néanmoins, les corrélations observées sur l'ACP (Figure 22) sont en cohérence avec des travaux détaillés dans la synthèse bibliographique. Citons les travaux de Corbet et al. (1993) qui ont observé une corrélation positive entre la température et l'activité de vol des abeilles, qui se déplacent moins sous des températures plus faibles. Le climat peut donc biaiser les observations et être à l'origine de variations interannuelles. Il serait intéressant de prendre en compte ces effets : **(1)** En les intégrant au modèle lorsque les études se font sur plusieurs années, comme proposé dans Witter et al. (2012). **(2)** En décalant si besoin les dates d'échantillonnage pour proposer des conditions climatiques similaires et propices au vu de comparaison interannuelles (éviter les fortes pluies, températures ou des vitesses de vent élevées).

### L'importance de l'échelle spatio-temporelle

L'absence d'observation de différences selon les degrés de diversification de l'agroécosystème peut être due à une échelle spatiale et temporelle d'étude inappropriée.

Cette étude s'intéresse à l'effet de la diversification de l'agroécosystème uniquement sur la parcelle. Considérer une plus grande échelle spatiale, comme le paysage alentour est alors pertinent lorsque l'on cherche à étudier les auxiliaires. En effet, l'hétérogénéité du paysage semble être un des facteurs les plus importants pour expliquer les variations de la biodiversité de l'entomofaune, car elle est à l'origine d'une diversité de refuges et de sources alimentaires pour les auxiliaires (Stein et al., 2014). Les auxiliaires ont tous des vitesses et distances de dispersions différentes, ainsi l'hétérogénéité de la parcelle aux alentours est importante à prendre en compte, comme déjà mentionné pour la distance importante de butinage des abeilles domestiques (Hagler et al., 2011). Ainsi, les pratiques intensives environnantes peuvent avoir un effet négatif ou positif sur la biodiversité observée sur la parcelle et modifier les régulations naturelles (Tscharrntke et al., 2016).

Par ailleurs, les travaux réalisés ici sont le résultats d'uniquement trois échantillonnages par an sur une parcelle âgée de deux ans seulement. Certaines espèces ne sont seulement présentes que quelques semaines dans l'année (Boyer et al., 2017) : la réalisation de 3 échantillonnages ne permet alors pas d'observer certains groupes taxonomiques (Chapin et al., 1997 ; Serée et al., 2020). Enfin, il existe à ce jour peu d'études sur le temps nécessaire pour observer les effets positifs ou négatifs d'aménagements sur la parcelle sur la faune auxiliaire (Serée et al., 2020). Actuellement, les effets des systèmes sur les indicateurs de biodiversité de l'entomofaune sont faibles et fluctuent selon les saisons et années étudiées. Il serait intéressant de continuer d'étudier l'impact du gradient de diversification dans les années à venir car l'équilibre des communautés n'est probablement pas atteint en raison de la jeunesse des systèmes (notamment des arbres co-plantés). En effet, Tixier et al. (2015) ont montré que les effets de l'agroforesterie en viticulture sur les acariens prédateurs Phytoseiidae étaient



visibles seulement 10 ans après la plantation (Tixier et al., 2015). Il a aussi été montré que des bandes fleuries âgées étaient plus efficaces que les jeunes pour augmenter la présence de parasitoïdes (Albrecht et al., 2020).

## **B) Les limites de l'étude : Méthode d'échantillonnage, niveau d'identification de la faune auxiliaire**

- **Choix de la méthode et du plan d'échantillonnage**

Nous observons sur la Figure 15 plus d'insectes capturés au printemps qu'en été, résultat qui confirme l'intérêt de déplacer la période d'échantillonnage de la faune auxiliaire, qui commençait en juin les années précédentes. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Boyer et al. (2017) qui indiquent que la période la plus propice pour suivre l'activité des auxiliaires (prédateurs, parasitoïde) est le printemps. Il en est de même pour le pic d'activité des pollinisateurs qui dure du début du printemps à la fin de l'été (Cole et al., 2017).

Par ailleurs, on observe un nombre de pièges différents selon les systèmes. Outre les problèmes que cela peut engendrer lors de l'analyse, cette différence peut poser problème quant au rayon d'attraction théorique des pièges. Il existe en effet un débat chez les scientifiques quant aux distances recommandées entre deux pièges : il est recommandé de placer les coupelles entre 5 mètres d'écart à 1 piège par km<sup>2</sup>. Il en est de même pour les pots barber, où entre 1 et 25 mètres d'écart sont conseillés (Montgomery et al., 2021).

Les coupelles sont des pièges attractifs qui attirent seulement certains taxons, ce qui peut biaiser les résultats des échantillonnages (Campbell et al., 2012). Les abeilles par exemple, dont de nombreuses espèces sont attirées par la couleur jaune, peuvent plus facilement être attirées par les fleurs présentant une ressource alimentaire que les coupelles (Campbell et al., 2012). Certaines études indiquent que les pollinisateurs capturés sont peu représentatifs de la biodiversité par rapport à d'autres types d'échantillonnage, notamment l'utilisation d'un filet à insecte (Cane et al., 2000). L'utilisation d'un filet nécessite néanmoins un temps de travail important, qui n'est pas forcément disponible au vu des nombreuses heures de travail nécessaires pour la conduite des systèmes de culture. Les pots barber sont utiles pour capturer des Coléoptères, notamment les carabes et les staphylins (Montgomery et al., 2021). Cela explique pourquoi peu de Diptères, d'araignées et d'opilions sont capturés (Figure 17). Plusieurs explications existent quant aux faibles captures de coléoptères dans les pots barber par rapport aux coupelles : **(1)** Les coupelles placées au sol peuvent être considérées comme des pots barber modifiés et attrapent-elles aussi des insectes rampants (Montgomery et al., 2021). **(2)** Les pots barber utilisés, en forme de cône et de diamètre relativement faible, présentent moins de chances de capturer à l'aveugle les insectes se déplaçant au sol que les coupelles de diamètre plus important (Baars, 1979; Boetzl et al., 2018). Ce faible diamètre pourrait aussi expliquer le nombre moins important d'insectes capturés dans les pots barber en comparaison avec les coupelles sans distinction de couleur.

- **Une étude partielle des régulations naturelles :**

La majorité des individus capturés dans cette étude sont identifiés à la famille ou au genre. Bien que cela donne une image globale de la biodiversité sur la parcelle, travailler à un niveau taxonomique plus petit pourrait permettre d'étudier les variations au sein des différents groupes taxonomiques et fonctionnels (Timms et al., 2013). Ces variations peuvent être importantes et des espèces peuvent réagir différemment aux variations



fonctionnelles des couverts. Hoehn et al. (2008) indiquent notamment que certains pollinisateurs vont préférer des hauteurs florales différentes : *Nomia concinna* préfère de faibles hauteurs alors que *Xylocopa nobilis* des fleurs hautes. En considérant ce faible niveau d'identification et des types d'échantillonnages réalisés, les catégories fonctionnelles étudiées concernent uniquement les grands groupes fonctionnels des auxiliaires selon leurs habitudes alimentaires. 2021 est de plus la première année où tous les insectes capturés étaient identifiés, mais ni les phytophages ravageurs de la vigne ni les parasitoïdes n'étaient suivis. Ces groupes sont pourtant nécessaires pour étudier l'impact de la diversification des vignobles sur les régulations naturelles.

## **V- Conclusion et perspectives**

### **A) Conclusion**

Afin de proposer des alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires, nous nous sommes intéressés à la diversification végétale de systèmes de cultures viticoles qui peuvent hypothétiquement favoriser la présence d'auxiliaires et améliorer les régulations naturelles. Nous avons identifié, et ce malgré la jeunesse de la parcelle, une présence de prédateurs plus importante au sein du système le plus diversifié (présence d'Arbres et de couverts spontanés) et une plus grande abondance d'insectes phytophages dans le système témoin le moins diversifié. Nous avons en parallèle mis en évidence des corrélations entre certains traits floraux des couverts et la présence de groupes d'auxiliaires. De nombreuses variables de l'entomofaune ne présentent néanmoins pas de différences selon le gradient de diversification étudié. Cette absence de différence peut être due à de multiples causes : jeunesse de la parcelle, climat, échelle spatiale, biais d'échantillonnage...

La mise en évidence de corrélation positive entre diversité végétale et diversité d'auxiliaires est une étape préliminaire quant à l'étude de l'effet d'une diversification végétale sur les régulations naturelles. Ce stage ouvre donc de nombreuses perspectives dans le domaine de la lutte biologique par conservation. Un objectif plus général sera de d'évaluer la faisabilité agronomique de cette diversification dans les vignobles et de l'intégrer en combinaison avec d'autres leviers. La viticulture reste en effet dépendante aux produits phytosanitaires, et 80 % de son IFT de référence concerne l'utilisation de fongicides. Notons de plus l'obligation de traiter les parcelles contre la cicadelle vectrice de la flavescence dorée. Des combinaisons de leviers (Lutte biologique par conservation, Stimulateurs des Défenses Naturelles, produits de biocontrôle) peuvent constituer des alternatives durables d'un point de vue tant environnemental, sociétal et économique pour les agriculteurs.

### **B) Perspectives**

L'étude réalisée pendant ces six mois est une étape préliminaire dont l'objectif était d'étudier l'impact de la diversification végétale des systèmes viticoles sur les auxiliaires. Les efforts d'échantillonnages sont importants et présentent un intérêt pour suivre les changements globaux lors des premières années d'étude des systèmes. Au regard des limites évoquées, de nombreuses pistes d'amélioration pourront être abordées par la suite du projet.





### Étude des régulations naturelles dans des systèmes viticoles

Il serait pertinent de suivre dans la parcelle les ravageurs de la vigne (Cochenilles, tordeuses, cicadelles) afin d'étudier l'impact du gradient de diversification sur leur contrôle. Les premiers suivis par battage de la vigne seront mis en place en 2022 et permettront d'avoir un aperçu de la pression réelle que les ravageurs exercent dans les différents systèmes. La mise en place d'un suivi des parasitoïdes spécifiques aux ravageurs de la vigne (Hyménoptères Trichogammatidae, Ichneumonides, Chalcidiens ou encore diptères Tachinidae), avec l'utilisation de tente malaise par exemple, serait là aussi intéressant. De plus, les régulations naturelles résultent d'une dynamique entre niveaux trophiques différents : étudier les dynamiques entre groupes trophiques passe par une caractérisation plus fine dans le temps en réalisant de multiples suivis au cours de la saison d'activité des auxiliaires des cultures.

Une interrogation demeure par ailleurs sur la consommation réelle des prédateurs sur les ravageurs des vignobles. En effet, même si plus de prédateurs sont observés dans les systèmes diversifiés, nous ne savons pas réellement leur consommation. Il serait alors intéressant de quantifier les régulations naturelles sur la parcelle. Cette quantification passe tout d'abord par une identification à un niveau taxonomique plus précis des auxiliaires échantillonnés. Par ailleurs, l'approche du métabarcoding est une méthode qui permet d'identifier et de séquencer l'ADN de n'importe quel échantillon, comme le contenu du tube digestif d'un prédateur capturé (Mollot et al., 2014). Une étude précise des organismes consommés par ce dernier pourrait permettre d'obtenir des détails sur l'impact réel des prédateurs sur le contrôle des ravageurs en viticulture.

### Étude poussée de l'impact des traits fonctionnels des couverts sur la présence d'auxiliaires en viticulture

L'année 2021 est la première année du projet où les couverts sont caractérisés selon une approche taxonomique et fonctionnelle. Les premiers résultats mettent en évidence des corrélations entre biodiversité fonctionnelle des couverts et biodiversité de l'entomofaune associée. Néanmoins, les couverts mis en place présentent peu de diversité entre eux, et seulement six traits fonctionnels ont été étudiés. Une piste d'étude serait d'aller plus loin dans l'analyse de la relation entre traits fonctionnels des couverts et présence d'auxiliaire. Le projet de science participative SPIPOLL créé en 2008 a pour objectif d'obtenir des données quantitatives sur les insectes pollinisateurs, notamment le temps de visite des fleurs et les espèces florales associées (*Spipoll - Suivi photographique des insectes pollinisateurs*, s. d.). Cette collecte de données pourrait servir pour mettre en évidence des corrélations entre biodiversité fonctionnelle des couverts et la présence d'auxiliaires. D'autres bases de données, comme celle de Ricou (2014), pourrait permettre d'obtenir des données sur les quantités de pollen et de nectar produites par chaque espèce.

L'augmentation des régulations naturelles en agriculture afin de limiter l'utilisation d'insecticides passe en effet par l'amélioration des connaissances des interactions et mécanismes existants entre diversification végétale et biodiversité de l'entomofaune.



## Références bibliographiques

- Agreste. (2021). *Chiffres et données - Statistique agricole annuelle 2020 - Chiffres provisoires*. Agreste - Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., Campbell, A. J., Dainese, M., Drummond, F. A., Entling, M. H., Ganser, D., Arjen de Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., ... Sutter, L. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Altieri, M. A. et Letourneau, D. K. (1982). Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1(4), 405-430. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(82\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0261-2194(82)90023-0)
- Ashman, T.-L., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R., Dudash, M. R., Johnston, M. O., Mazer, S. J., Mitchell, R. J., Morgan, M. T. et Wilson, W. G. (2004). Pollen Limitation of Plant Reproduction: Ecological and Evolutionary Causes and Consequences. *Ecology*, 85(9), 2408-2421. <https://doi.org/10.1890/03-8024>
- Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I. et Voltz, M. (2005). *Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Synthèse du rapport de l'expertise* [report, irstea ; INRA]. <https://hal.inrae.fr/hal-02587721>
- Baars, M. A. (1979). Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia*, 41(1), 25-46. <https://doi.org/10.1007/BF00344835>
- Balzan, M. V., Bocci, G. et Moonen, A.-C. (2016). Utilisation of plant functional diversity in wildflower strips for the delivery of multiple agroecosystem services. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(3), 304-319. <https://doi.org/10.1111/eea.12403>
- Barralis, G. (1976, 22 septembre). *Méthode d'étude des groupements adventices des cultures annuelles; Application à la Côte d'Or*. 5. Colloque International sur l'Ecologie et la Biologie des Mauvaises Herbes. <https://hal.inrae.fr/hal-02784323>
- Bernays, E. et Graham, M. (1988). On the Evolution of Host Specificity in Phytophagous Arthropods. *Ecology*, 69(4), 886-892. <https://doi.org/10.2307/1941237>
- Bishop, L. (1990). Meteorological Aspects of Spider Ballooning. *Environmental Entomology*, 19(5), 1381-1387. <https://doi.org/10.1093/ee/19.5.1381>
- Blancard, D. (2021). *Vigne - Les maladies et ravageurs*. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/6047/Vigne-Les-maladies-et-ravageurs>
- Boetzel, F. A., Ries, E., Schneider, G. et Krauss, J. (2018). It's a matter of design—how pitfall trap design affects trap samples and possible predictions. *PeerJ*, 6, e5078. <https://doi.org/10.7717/peerj.5078>
- Bourgade, E., Bustillo, V., Del'Homme, B., Desanlis, M., Dufourcq, T., Guensee, J., Grimaldi, J., Montagne, V., Ranjard, L. et Alonso Ugaglia, A. (2018). Itinéraires : Agroforesterie et viticulture. *IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin*, (28).
- Boyer, F., Ulrych, R., Sellam, M. et Lejeune, V. (2017). *Les auxiliaires des cultures - biologie, écologie, méthodes d'observation et intérêt agronomique* (Acta éditions). [https://www.lalibrairie.com/livres/les-auxiliaires-des-cultures--biologie-ecologie-methodes-d-observation-et-interet-agronomique\\_0-4220184\\_9782857942832.html](https://www.lalibrairie.com/livres/les-auxiliaires-des-cultures--biologie-ecologie-methodes-d-observation-et-interet-agronomique_0-4220184_9782857942832.html)
- Campbell, J. W. et Hanula, J. L. (2007). Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 11(4), 399-408. <https://doi.org/10.1007/s10841-006-9055-4>
- Cane, J. H., Minckley, R. L. et Kervin, L. J. (2000). Sampling Bees (Hymenoptera: Apiformes) for Pollinator Community Studies: Pitfalls of Pan-Trapping. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 73(4), 225-231.



- Cardinale, B. J., Wright, J. P., Cadotte, M. W., Carroll, I. T., Hector, A., Srivastava, D. S., Loreau, M. et Weis, J. J. (2007). Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(46), 18123-18128. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709069104>
- Chambres d'agriculture. (2021, 22 mars). *Ecophyto definition*. <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/>
- Chamont, S. (2021). *Vigne - Auxiliaires prédateurs*. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/26152/Vigne-Auxiliaires-predateurs>
- Chapin, F. S., Walker, B. H., Hobbs, R. J., Hooper, D. U., Lawton, J. H., Sala, O. E. et Tilman, D. (1997). Biotic Control over the Functioning of Ecosystems. *Science*, 277(5325), 500-504. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.500>
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J. et Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity: Pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14(9), 922-932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>
- Chen, C., Biere, A., Gols, R., Halfwerk, W., van Oers, K. et Harvey, J. A. (2018). Responses of insect herbivores and their food plants to wind exposure and the importance of predation risk. *Journal of Animal Ecology*, 87(4), 1046-1057. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12835>
- Cherry, M. J. et Barton, B. T. (2017). Effects of wind on predator-prey interactions. *Food Webs*, 13, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2017.02.005>
- Cole, L. J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W. et McCracken, D. I. (2017). Exploring the interactions between resource availability and the utilisation of semi-natural habitats by insect pollinators in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.007>
- Conti, B. (2009). Notes on the presence of *Aeolothrips intermedius* in northwestern Tuscany and on its development under laboratory conditions. *Bulletin of Insectology*, 62(1), 107-112.
- Corbet, S. A., Fussell, M., Ake, R., Fraser, A., Gunson, C., Savage, A. et Smith, K. (1993). Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecological Entomology*, 18(1), 17-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1993.tb01075.x>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. et van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Crutsinger, G. M., Collins, M. D., Fordyce, J. A., Gompert, Z., Nice, C. C. et Sanders, N. J. (2006). Plant Genotypic Diversity Predicts Community Structure and Governs an Ecosystem Process. *Science*, 313(5789), 966-968. <https://doi.org/10.1126/science.1128326>
- Daane, K. M., Yokota, G. Y., Zheng, Y. et Hagen, K. S. (1996). Inundative Release of Common Green Lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) To Suppress *Erythroneura variabilis* and *E. elegantula*. (Homoptera: Cicadellidae) in Vineyards. *Environmental Entomology*, 25(5), 1224-1234. <https://doi.org/10.1093/ee/25.5.1224>
- De Montaigne, A. et Robert, C. (2015). Guide d'élaboration d'un protocole d'observation des auxiliaires entomophages en grandes cultures, 45.
- Duso, C., Kreiter, S., Tixier, M.-S., Pozzebon, A. et Malagnini, V. (2010). *Biological control of mites in European vineyards and the impact of natural vegetation*. M. W. Sabelis et J. Bruin (dir.), Dordrecht (p. 399-407). [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9837-5\\_65](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9837-5_65)
- Faurie, C. (2011). *Ecologie: Approche scientifique et pratique* (6<sup>e</sup> éd.). Lavoisier.
- Fisher, T., Moore, I., Legner, E. et Orth, R. (1976). *Ocypus olens*: A predator of brown garden snail. *California Agriculture*, 30(3), 20-21.



- Floate, K. D., Doane, J. F. et Gillott, C. (1990). Carabid Predators of the Wheat Midge (Diptera: Cecidomyiidae) in Saskatchewan. *Environmental Entomology*, 19(5), 1503-1511. <https://doi.org/10.1093/ee/19.5.1503>
- Fried, G., Chauvel, B. et Reboud, X. (2008). Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques*, 3, 15.
- Fried, G., Cordeau, S., Jullien, J., Kazakou, E., Metais, A., Puiraveau, M. et Grosman, J. (2019). Flore adventice dans trois bassins viticoles : Les pratiques d'entretien du sol – travail du sol, herbicides, tonte – influent sur la richesse et l'abondance de la flore adventice des vignobles. *Phytoma la Défense des Végétaux*, 728, 34.
- Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D. S. et DeClerck, F. A. J. (2014). Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems. Dans *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (p. 21-40). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00013-9>
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H. et Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>
- Gathmann, A. et Tscharrntke, T. (2002). Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology*, 71(5), 757-764. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00641.x>
- Geldendhuys, M., Gaigher, R., Pryke, J. S. et Samways, M. J. (2021). Diverse herbaceous cover crops promote vineyard arthropod diversity across different management regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 307, 107222. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107222>
- Haddad, N. M., Crutsinger, G. M., Gross, K., Haarstad, J., Knops, J. M. H. et Tilman, D. (2009a). Plant species loss decreases arthropod diversity and shifts trophic structure. *Ecology Letters*, 12(10), 1029-1039. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01356.x>
- Haddad, N. M., Crutsinger, G. M., Gross, K., Haarstad, J., Knops, J. M. H. et Tilman, D. (2009b). Plant species loss decreases arthropod diversity and shifts trophic structure. *Ecology Letters*, 12(10), 1029-1039. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01356.x>
- Haddad, N. M., Tilman, D., Haarstad, J., Ritchie, M. et Knops, J. M. H. (2001). Contrasting Effects of Plant Richness and Composition on Insect Communities: A Field Experiment. *The American Naturalist*, 158(1), 17-35. <https://doi.org/10.1086/320866>
- Hagler, J. R., Mueller, S., Teuber, L. R., Machtley, S. A. et Van Deynze, A. (2011). Foraging range of honey bees, *Apis mellifera*, in alfalfa seed production fields. *Journal of Insect Science*, 11(1). <https://doi.org/10.1673/031.011.14401>
- Hairston, N. G., Smith, F. E. et Slobodkin, L. B. (1960). Community Structure, Population Control, and Competition. *The American Naturalist*, 94(879), 421-425.
- Hawkins, B. A. et Porter, E. E. (2003). Does Herbivore Diversity Depend on Plant Diversity? The Case of California Butterflies. *The American Naturalist*, 161(1), 40-49. <https://doi.org/10.1086/345479>
- Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M. C., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P. G., Finn, J. A., Freitas, H., Giller, P. S., Good, J., Harris, R., Högberg, P., Huss-Danell, K., Joshi, J., Jumpponen, A., Körner, C., Leadley, P. W., Loreau, M., Minns, A., ... Lawton, J. H. (1999). Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. *Science*, 286(5442), 1123-1127. <https://doi.org/10.1126/science.286.5442.1123>
- Hillebrand, H. et Matthiessen, B. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology Letters*, 12(12), 1405-1419. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01388.x>
- Hoehn, P., Tscharrntke, T., Tylianakis, J. M. et Steffan-Dewenter, I. (2008). Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1648), 2283-2291. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0405>





- Holland, J. M., Bianchi, F. J., Entling, M. H., Moonen, A.-C., Smith, B. M. et Jeanneret, P. (2016). Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies: Structure, function and management of semi-natural habitats for biological control. *Pest Management Science*, 72(9), 1638-1651. <https://doi.org/10.1002/ps.4318>
- Hooper, D. U. et Vitousek, P. M. (1998). Effects of Plant Composition and Diversity on Nutrient Cycling. *Ecological Monographs*, 68(1), 121-149. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1998\)068\[0121:EOPCAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068[0121:EOPCAD]2.0.CO;2)
- Høye, T. T. et Forchhammer, M. C. (2008). The influence of weather conditions on the activity of high-arctic arthropods inferred from long-term observations. *BMC Ecology*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-8-8>
- Hunter, M. D. et Price, P. W. (1992). Playing Chutes and Ladders: Heterogeneity and the Relative Roles of Bottom-Up and Top-Down Forces in Natural Communities. *Ecology*, 73(3), 724-732.
- Hutchinson, G. E. (1959). Homage to Santa Rosalia or Why Are There So Many Kinds of Animals? *The American Naturalist*, 93(870), 145-159. <https://doi.org/10.1086/282070>
- INRAe. (2017). fiche variétale IJ134 - ARTABAN. [https://www.vinopole.com/fileadmin/user\\_upload/fichiers\\_vinopole/Materiel\\_vegetal/Cepages\\_et\\_nouvelles\\_varietes/fiche\\_varietale\\_IJ134\\_v2.pdf](https://www.vinopole.com/fileadmin/user_upload/fichiers_vinopole/Materiel_vegetal/Cepages_et_nouvelles_varietes/fiche_varietale_IJ134_v2.pdf)
- INSERM. (2013). *Pesticides. Effets sur la santé*. Collection expertise collective, Inserm. <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/pesticides/article/effets-sur-la-sante-d-une-exposition-a-des-pesticides>
- Jaenike, J. (1990). Host Specialization in Phytophagous Insects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 243-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.001331>
- Jetz, W., Kreft, H., Ceballos, G. et Mutke, J. (2009). Global associations between terrestrial producer and vertebrate consumer diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1655), 269-278. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1005>
- Johnson, M. T. J. (2008). Bottom-up Effects of Plant Genotype on Aphids, Ants, and Predators. *Ecology*, 89(1), 145-154. <https://doi.org/10.1890/07-0395.1>
- Joseph, C., Delattre, D. et Sarthou, J.-P. (2018). Auxiliaires des cultures – Définition. Dans *Dictionnaire d'Agroécologie*. <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/auxiliaires-des-cultures/>
- Julve, P. (1998). Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France [Version 2015]. *Institut Catholique de Lille*. [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=fr&user=JHyMRqgAAAAJ&citation\\_for\\_view=JHyMRqgAAAAJ:u5HHmVD\\_uO8C](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=JHyMRqgAAAAJ&citation_for_view=JHyMRqgAAAAJ:u5HHmVD_uO8C)
- Kazakou, E., Fried, G., Richarte, J., Gimenez, O., Violle, C. et Metay, A. (2016). A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Botany Letters*, 163(4), 373-388. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1232205>
- Kazakou, Elen, Fried, G., Richarte, J., Lesniak, V., Guilpart, N., Andrieux, P. et Metay, A. (2012). Réponses de la flore adventice aux différents modes d'entretien du sol et effets sur la croissance de la vigne : le cas du Domaine du Chapitre (Sud de la France). *Progress Agricole et Viticole*, 129(19), 453.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W. et Waser, N. M. (1998). ENDANGERED MUTUALISMS: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 83-112. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83>
- Keddy, P. A. (1992). A Pragmatic Approach to Functional Ecology. *Functional Ecology*, 6(6), 621-626. <https://doi.org/10.2307/2389954>



- Kehinde, T. et Samways, M. J. (2014). Insect–flower interactions: network structure in organic versus conventional vineyards. *Animal Conservation*, 17(5), 401-409. <https://doi.org/10.1111/acv.12118>
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A. L., Cariveau, D., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Cunningham, S. A., Danforth, B. N., Dudenhöffer, J.-H., Elle, E., Gaines, H. R., Garibaldi, L. A., Gratton, C., ... Kremen, C. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16(5), 584-599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Kosztarab, M. et Kozar, F. (1983). Introduction of *Anthribus nebulosus* (Coleoptera: Anthribidae) in Virginia for control of scale insects: a review [Biocontrol agent]. *Virginia Journal of Science*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19850051691>
- Kromp, B. (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 187-228. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00037-7)
- Langellotto, G. A. et Denno, R. F. (2004). Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. *Oecologia*, 139(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1497-3>
- Lázaro, A., Nielsen, A. et Totland, Ø. (2010). Factors related to the inter-annual variation in plants' pollination generalization levels within a community. *Oikos*, 119(5), 825-834. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.18017.x>
- 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. et Trommetter, M. (2008). *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies*.
- Letourneau, D. K., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., Escobar, S., Galindo, V., Gutiérrez, C., López, S. D., Mejía, J. L., Rangel, A. M. A., Rangel, J. H., Rivera, L., Saavedra, C. A., Torres, A. M. et Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21(1), 9-21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D. U., Huston, M. A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. et Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science*, 294(5543), 804-808. <https://doi.org/10.1126/science.1064088>
- Martin, C. (2020). *Fleurs d'Angiospermes — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre*. <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/accompagnement-pedagogique/accompagnement-au-lycee/la-biodiversite-florale>
- Martin, E. A., Reineking, B., Seo, B. et Steffan-Dewenter, I. (2013). Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(14), 5534-5539. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215725110>
- Mazzon, L. et Girolami, V. (2002). *Neodryinus typhlocybae* (Ashmead). Use and efficacy in biological control [parasitoid of *Metcalfa pruinosa*]. *Informatore Fitopatologico (Italy)*, 52(7-8), 27-31.
- McGregor, S. E. (1976). *Insect Pollination of Cultivated Crop Plants*. U.S. Department of Agriculture.
- Mcneely, J. A. (2002). The role of taxonomy in conserving biodiversity. *Journal for Nature Conservation*, (10), 145-153.
- Michalko, R., Pekár, S., Dul'a, M. et Entling, M. H. (2019). Global patterns in the biocontrol efficacy of spiders: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 28(9), 1366-1378. <https://doi.org/10.1111/geb.12927>
- Mihajlovic, L. et Kozarzevska, E. (1983). Effectiveness of entomophages in reducing populations of some coccid pests (Homoptera: Coccoidea). *Zastita bilja = Plant protection*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302146104>



- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. (2021, 3 février). *Le plan Écophyto, qu'est-ce que c'est ?* <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>
- Mollot, G., Duyck, P.-F., Lefeuvre, P., Lescourret, F., Martin, J.-F., Piry, S., Canard, E. et Tixier, P. (2014). Cover Cropping Alters the Diet of Arthropods in a Banana Plantation: A Metabarcoding Approach. *PLOS ONE*, 9(4), e93740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093740>
- Montgomery, G. A., Belitz, M. W., Guralnick, R. P. et Tingley, M. W. (2021). Standards and Best Practices for Monitoring and Benchmarking Insects. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.579193>
- Organisation des Nations Unies. (1993). Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. <https://www.un.org/french/events/rio92/rio-fp.htm#three>
- Paiola, A., Assandri, G., Brambilla, M., Zottini, M., Pedrini, P. et Nascimbene, J. (2020). Exploring the potential of vineyards for biodiversity conservation and delivery of biodiversity-mediated ecosystem services: A global-scale systematic review. *Science of The Total Environment*, 706, 135839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135839>
- Papura, D., Roux, P., Joubard, B., Razafimbola, L., Fabreguettes, O., Delbac, L. et Rusch, A. (2019). Predation of grape berry moths by harvestmen depends on landscape composition. *Biological Control*, 150, 104358. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104358>
- Pertot, I., Caffi, T., Rossi, V., Mugnai, L., Hoffmann, C., Grando, M. S., Gary, C., Lafond, D., Duso, C., Thiery, D., Mazzoni, V. et Anfora, G. (2017). A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Protection*, 97, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.025>
- Petchey, O. L. et Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9(6), 741-758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
- Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T. et Cliff, B. (1997). Economic and Environmental Benefits of Biodiversity. *BioScience*, 47(11), 747-757. <https://doi.org/10.2307/1313097>
- Poulsen, B. O. (1996). Relationships between frequency of mixed-species flocks, weather and insect activity in a montane cloud forest in Ecuador. *Ibis*, 138(3), 466-470. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1996.tb08066.x>
- Prokopy, R. J. et Owens, E. D. (1983). Visual Detection of Plants by Herbivorous Insects. *Annual Review of Entomology*, 28(1), 337-364. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002005>
- Rabolin-Meinrad, C. et Schneider, C. C. (2017). Les bordures de parcelle comme moyen pour protéger la biodiversité dans le vignoble ? *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles et Oenologiques*, (164), 13-15.
- Ramamurthy, V., Akhtar, M., Patankar, N., Menon, P., Kumar, R., Singh, S. K., Ayri, S., Shama, P. et Mittal, V. (2010). Efficiency of different light sources in traps in monitoring insect diversity. *Mun. Ent. Zool.*, 5, 109-114.
- Raven, P. H. et Wagner, D. L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2). <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>
- Root, R. B. (1973). Organization of a Plant-Arthropod Association in Simple and Diverse Habitats: The Fauna of Collards (Brassica Oleracea). *Ecological Monographs*, 43(1), 95-124. <https://doi.org/10.2307/1942161>
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M. M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W. W., Winqvist, C., Woltz, M. et Bommarco, R. (2016). Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>



- Sáenz-Romo, M. G., Veas-Bernal, A., Martínez-García, H., Campos-Herrera, R., Ibáñez-Pascual, S., Martínez-Villar, E., Pérez-Moreno, I. et Marco-Mancebón, V. S. (2019). Ground cover management in a Mediterranean vineyard: Impact on insect abundance and diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 283, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106571>
- Sánchez-Bayo, F. (2021). Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. *Toxics*, 9(8), 177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>
- Saska, P., van der Werf, W., Hemerik, L., Luff, M. L., Hatten, T. D. et Honek, A. (2013). Temperature effects on pitfall catches of epigeal arthropods: a model and method for bias correction. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 181-189. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12023>
- Sentenac, G. (2011). *La faune auxiliaire des vignobles de France* (France Agricole). <https://www.unitheque.com/la-faune-auxiliaire-des-vignobles-france/france-agricole/Livre/46342>
- Séré, L., Rouzes, R., Thiéry, D. et Rusch, A. (2020). Temporal variation of the effects of landscape composition on lacewings (Chrysopidae: Neuroptera) in vineyards. *Agricultural and Forest Entomology*, 22(3), 274-283. <https://doi.org/10.1111/afe.12380>
- Sharma, S., Kooner, R. et Arora, R. (2017). Insect Pests and Crop Losses. Dans R. Arora et S. Sandhu (dir.), *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture* (p. 45-66). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2)
- Shields, M. W., Tompkins, J.-M., Saville, D. J., Meurk, C. D. et Wratten, S. (2016). Potential ecosystem service delivery by endemic plants in New Zealand vineyards: successes and prospects. *PeerJ*, 4, e2042. <https://doi.org/10.7717/peerj.2042>
- Siemann, E., Tilman, D., Haarstad, J. et Ritchie, M. (1998). Experimental Tests of the Dependence of Arthropod Diversity on Plant Diversity. *The American Naturalist*, 152(5), 738-750. <https://doi.org/10.1086/286204>
- Sileshi, G., Schroth, G., Rao, M. R. et Girma, H. (2008). *Ecological basis of agroforestry* (vol. 73-94). CRC press.
- Spipoll - Suivi photographique des insectes pollinisateurs.* (s. d.). <https://www.spipoll.org/>
- Srivastava, D. S. et Lawton, J. H. (1998). Why More Productive Sites Have More Species: An Experimental Test of Theory Using Tree-Hole Communities. *The American Naturalist*, 152(4), 510-529. <https://doi.org/10.1086/286187>
- Stein, A., Gerstner, K. et Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 17(7), 866-880. <https://doi.org/10.1111/ele.12277>
- Stiling, P. et Cornelissen, T. (2005). What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control*, 34(3), 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.02.017>
- Strong, D. R., Lawton, J. H. et Southwood, S. R. (1984). Insects on plants. Community patterns and mechanisms. *Insects on Plants. Community Patterns and Mechanisms.* <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19840515077>
- Suttle, K. B., Thomsen, M. A. et Power, M. E. (2007). Species Interactions Reverse Grassland Responses to Changing Climate. *Science*, 315(5812), 640-642. <https://doi.org/10.1126/science.1136401>
- Tilman, D. (1999). The Ecological Consequences of Changes in Biodiversity: A Search for General Principles. *Ecology*, 80(5), 1455-1474. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1455:TECOCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1455:TECOCI]2.0.CO;2)
- Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T. et Lehman, C. (2001). Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment. *Science*, 294(5543), 843-845. <https://doi.org/10.1126/science.1060391>
- Timms, L. L., Bowden, J. J., Summerville, K. S. et Buddle, C. M. (2013). Does species-level resolution matter? Taxonomic sufficiency in terrestrial arthropod biodiversity studies. *Insect Conservation and Diversity*, 6(4), 453-462. <https://doi.org/10.1111/icad.12004>





- Tixier, M.-S., Arnaud, A., Douin, M. et Kreiter, S. (2015). Effects of agroforestry on Phytoseiidae communities (Acari: Mesostigmata) in vineyards. A synthesis of a 10-year period of observations. *Acarologia*, 55(4), 361-375. <https://doi.org/10.1051/acarologia/20152182>
- Totland, Ø. (1994). Influence of Climate, Time of Day and Season, and Flower Density on Insect Flower Visitation in Alpine Norway. *Arctic and Alpine Research*, 26(1), 66-71. <https://doi.org/10.1080/00040851.1994.12003041>
- Trivellone, V., Schoenenberger, N., Bellosi, B., Jermini, M., de Bello, F., Mitchell, E. A. D. et Moretti, M. (2014). Indicators for taxonomic and functional aspects of biodiversity in the vineyard agroecosystem of Southern Switzerland. *Biological Conservation*, 170, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.008>
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., Hunt, L., Ives, A., Jonsson, M., Larsen, A., Martin, E. A., Martínez-Salinas, A., Meehan, T. D., O'Rourke, M., Poveda, K., Rosenheim, J. A., Rusch, A., Schellhorn, N., Wanger, T. C., ... Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- Vandermeer, J. H. (1992). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press.
- Wallis, D. R. et Shaw, P. W. (2008). Evaluation of coloured sticky traps for monitoring beneficial insects in apple orchards. *New Zealand Plant Protection*, 61, 328-332. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2008.61.6811>
- Watson, R. T., Zakri, A. H., Arico, S., Bridgewater, P., Mooney, H. A. et Cropper, A. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute.
- Wilson, J. S., Griswold, T. et Messinger, O. J. (2008). Sampling Bee Communities (Hymenoptera: Apiformes) in a Desert Landscape: Are Pan Traps Sufficient? *Journal of the Kansas Entomological Society*, 81(3), 288-300. <https://doi.org/10.2317/JKES-802.06.1>
- Witter, L. A., Johnson, C. J., Croft, B., Gunn, A. et Poirier, L. M. (2012). Gauging climate change effects at local scales: weather-based indices to monitor insect harassment in caribou. *Ecological Applications*, 22(6), 1838-1851. <https://doi.org/10.1890/11-0569.1>
- Zattara, E. E. et Aizen, M. A. (2021). Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth*, 4(1), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.005>
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K. et Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>
- Zhu, H., Wang, D., Wang, L., Fang, J., Sun, W. et Ren, B. (2014). Effects of altered precipitation on insect community composition and structure in a meadow steppe. *Ecological Entomology*, 39(4), 453-461. <https://doi.org/10.1111/een.12120>



## Annexes

**Annexe I :** Tableaux des principaux ravageurs et maladies en viticulture et des solutions alternatives aux produits phytosanitaires (Pertot et al., 2017 ; Blancard, 2021). *Des couleurs similaires indiquent que l'insecte est vecteur du microorganisme ou de la bactérie.*

Champignons et autres microorganismes	Champignons aériens	Mildiou ( <i>Plasmopara viticola</i> ) ; Oïdium ( <i>Erysiphe necator</i> ) ; Moisissure grise ( <i>Botrytis cinerea</i> ) ; Black rot ( <i>Guignardia bidwellii</i> ) ; Excoriose ( <i>Phomopsis viticola</i> ) ; Anthracnose ( <i>Elsinoe ampelina</i> )
	Micro-organismes de la grappe	<b>Pourriture acide</b> , pourriture à <i>Penicillium</i> , pourriture à <i>Aspergillus</i> , pourriture à <i>Cladosporium</i> , pourriture à <i>Rhizopus</i> , rot blanc ( <i>Coniella diplodiella</i> ), moisissure rose ( <i>Trichothecium roseum</i> ), brunissement de la rafle, pourriture à <i>Monilia</i> , pourriture à <i>Alternaria</i> , Ripe rot ( <i>Colletotrichum spp.</i> ), pourritures de la grappe et composés défavorables.
	Champignons du bois	Eutypiose ( <i>Eutypa lata</i> ), Dépérissement ( <i>Botryosphaeria spp.</i> ), Esca
	Champignons telluriques	<i>Armillaria mellea</i> , Pied noir ( <i>Ilyonectria liriodendri</i> )
Bactérie et phytoplasmes	Necrose bactérienne ( <i>Xylophilus ampelinus</i> ), <b>Phytoplasme de la flavescence dorée</b> , <b>Phytoplasme responsable du bois noir</b> , Maladie de Pierce ( <i>Xylella fastidiosa</i> )	
Virus	Virus du court noué (Grapevine fan leaf virus (GFLV), Arabis mosaic virus (ArMV)), <b>Virus de l'enroulement</b> (Grapevine leafroll-associated virus (GLRaV))	
Acariens	Acariose ( <i>Calepitrimerus vitis</i> ), Erinose ( <i>Colomerus vitis</i> ), Acarien jaune ( <i>Eotetranychus carpini</i> ), Acarien rouge ( <i>Panonychus ulmi</i> )	
Insectes phytophages	<b>Tordeuses</b> [Eudemis ( <i>Lobesia botrana</i> ) ; Eulia ( <i>Argyrotaenia Ijungiana</i> ) ; Cochylis ( <i>Empoecilia ambiguella</i> ) ; Pyrale de la vigne ( <i>Sparganothis pilleriana</i> )], Cicadelle verte ( <i>Empoasca vitis</i> ), Cicadelle bubale ( <i>Stictocephala bisonia</i> ), Cigarier ( <i>Byctiscus betulae</i> ), Drosophile japonaise ( <i>Drosophila suzukii</i> ), Phylloxera ( <i>Daktulosphaira vitifoliae</i> )	
Insectes vecteurs	<b>Drosophila spp.</b> (vecteur de la pourriture acide), <b>Scaphoideus titanus</b> (vecteur de la flavescence dorée), <b>Cochenilles</b> [ <i>Heliococcus bohemicus</i> Sulc, <i>Phenacoccus aceris</i> Signoret, <i>Planococcus ficus</i> Signoret, <i>Planococcus citri</i> Risso, <i>Parthenolecanium corni</i> (Bouché), <i>Pulvinaria vitis</i> (L.)], <b>Ful-gore du stolbur</b> ( <i>Hyalesthes obsoletus</i> )	
Ravageurs secondaires	Chenilles mange-bourgeons (Geometridae, Erebidae, Noctuidae, Sphingidae, Zygaenidae), Cicadelle pruineuse ( <i>Metcalfa pruinosa</i> ), Punaises phytophages (Miridae, Lygaeidae, Pentatomidae), Escargots ( <i>Theba pisana</i> (O.F. Müller, 1774), <i>Cornu aspersum</i> (O.F. Müller 1774))	

Solutions alternatives	Détail
Agriculture de précisions	Maîtrise de la pulvérisation
Surveillance	Identification et surveillance des ravageurs, seuil économique
Choix des produits utilisés	Produits les moins toxiques possible
Confusion sexuelle	Hormones contre <i>Planococcus ficus</i>
Lutte biologique classique	Introduction d'auxiliaires de cultures
Lutte biologique par augmentation	Lâchers d'acariens prédateurs
Lutte biologique par conservation	Gestion des habitats : couverts végétaux, haies, bandes fleuries
Utilisation d'animaux	Chauve-souris, oiseaux, moutons, poules
Utilisation de produits de biocontrôle	



Annexe II : Tableau récapitulatif des auxiliaires de culture en viticulture, leurs cibles et leurs efficacités.

		Groupe Taxonomique	Cibles	Efficacité
Araignées		Salticidae, Thomisidae, Clubionidae, Theridiidae, Araneidae, Philodromidae, Oxyopidae, Pisauridae	Prédateurs généralistes de proies vivantes (cicadelles et cochenilles sur vignes) (Sentenac, 2011)	Auxiliaires efficaces pour contrôler les ravageurs des cultures dans 79% des cas (review réalisée en 2019 sur 58 études) (Michalko et al. 2019)
	Opilions	Phalangidae	Arthropodes divers, matières organiques mortes animales ou végétales... (Sentenac, 2011)	Absence d'études en conditions naturelles en viticulture. Papura et al. (2019) supposent fortement que les phalangidae peuvent contribuer au contrôle de la tordeuse de la vigne (Papura et al. 2019)
Acaréens prédateurs		Phytoseiidae : <i>Typhlodromus pyri</i> (Scheuten), <i>Kampimodromus aberrans</i> (Oudemans), <i>Phytoseius finitimus</i> (Ribaga), <i>Amblyseius andersoni</i> (Chant)	Acaréens tétranyques, ériophyides, ténui-palpides, tarsonémides, tydésides ; pollens ; nectar ; sucs ; miellats ; champignons microscopiques (oïdium, mildiou). Rare : d'hémiptères et thrips (Sentenac, 2011)	<i>K. aberrans</i> est le plus efficace pour contrôler <i>E. carpini</i> au champ en Europe (Duso et al. 2010). <i>K. aberrans</i> et <i>T. pyri</i> contrôlent efficacement les populations de Tétranyques (notamment <i>P. ulmi</i> ) au champ (Duso et al. 2010)
		Stigmaeidae, Anystidae, Cheyletidae, Bdellidae, Cunaxidae, Erythraeidae, Tydeidae	Tétranyques, ténui-palpides, champignons microscopiques (oïdium, mildiou) (Chamont, 2021; Sentenac, 2011)	Retrouvés sporadiquement sur vigne, faible taux de reproduction, peu d'efficacité (Sentenac, 2011)
Coléoptères		Anthribidae : <i>Anthrribus nebulosus</i>	Cochenilles (Chamont, 2021)	Taux important de prédation de cochenilles (30% selon Kosztarab et Kozar, 1983, 65% selon Mihajlovic et Kozarzevska, 1983).
		Cantharidae : <i>Cantharis spp.</i> , <i>Rhagonycha fulva</i> Scopoli 1758, <i>Malthinus sp.</i>	Petits invertébrés (chenilles, pucerons, oeufs d'insectes), nectar et pollen. (Chamont, 2021)	Non renseigné
		Certaines espèces de Carabidae	Adultes et les larves carnivores consomment les oeufs, larves et adultes de nombreux arthropodes ou mollusques vivant au sol ou dans la végétation (Sentenac, 2011).	Absence d'études en conditions naturelles en viticulture. Sur céréale : les populations de pucerons sont réduites significativement par la présence de carabes (Kromp, 1999). Ils contribuent aussi au contrôle d'oeufs de diptères mais ne réduisent pas significativement les populations de ravageurs (Floate et al., 1990)
		Coccinellidae : <i>Nephus bisignatus</i> (Boheman, 1850) ; <i>N. quadrimaculatus</i> (Herbst, 1783) ; <i>Scymnus frontalis</i> (Fabricius, 1787) ; <i>Exochomus quadripustulatus</i> (Linné, 1758)	Cochenilles, pucerons, acaréens, autres hémiptères. <i>Exochomus quadripustulatus</i> est un agent de lutte biologique commercialisé qui peut consommer <i>Parthenolecanium corni</i> (Sentenac, 2011).	Des études sont en cours pour étudier l'efficacité de <i>Exochomus quadripustulatus</i> sur <i>Parthenolecanium corni</i> , déjà utilisé en lutte biologique (Sentenac, 2011). Les coccinelles sont d'une efficacité mineure contre les tordeuses de la vigne (Sentenac, 2011).
Prédateurs		Drillidae : <i>Drilus flavescens</i>	Larves : escargots. (Chamont, 2021)	Non renseigné



				Larves : escargots (Chamont, 2021)	Non renseigné
				Larves et adultes : limaces, escargots, ravageurs souterrains, acariens phytophages et oeufs de diptères. Larves : peuvent parasiter des larves de diptères (Chamont, 2021 ; Sentenac, 2011).	Absence d'études en conditions naturelles. <i>Ocypus olens</i> : Les femelles consomment en moyenne un escargot par jour en conditions contrôlées (Fisher et al. 1976)
				Larves : hémiptères (principalement pucerons), cochenilles et psylles. <i>L. silesiaca</i> se nourrit de <i>P. vitis</i> (Sentenac, 2011)	Dans une étude en Bourgogne, 4,40% des femelles <i>P. vitis</i> abritaient en juin des larves de <i>L. silesiaca</i> (Sentenac et al., 2011)
				Larves : pucerons (mais pas dans les vignobles : phylloxera), larves de cochylys, eudémis, pyrale et eulia. Adultes : pollen (rôle de pollinisateurs) (Sentenac, 2011)	Non renseigné
				Acarions, cochenilles, psylles, pucerons, oeufs de lepidoptères, chenilles, thrips (Chamont, 2021)	Les capacités de prédation d' <i>Oritus sp.</i> en laboratoire pendant 48h sur eudémis sont de 32 oeufs consommés/individus (expérimentation non publiée de D. Thiéry, 2005, dans Sentenac, 2011).
				Pucerons, chenille de tordeuses, de cochenilles, de larves de mouches... (Sentenac, 2011)	Dans une étude de 1996, la réduction moyenne des cicadelles dans les vignobles étudiés après lâchers de <i>C. carnea</i> étaient de 9,6 % (Daane et al., 1996).
				Larves et adultes : oeufs, larves et adultes de petits insectes, acariens à téguments mou. Adultes : miellat (Sentenac, 2011)	Non renseigné
				Larves de thrips (notamment Thrips tabaci Linderman), acariens Tétranyques	On observe une consommation de cinq thrips / jour /adulte en laboratoire (Conti, 2009).
				<i>Helicococcus bohemicus</i>	<i>A. szodensis</i> : parasite majeur. <i>E. sipylus</i> : parasitoïde majeur mais présence peu perceptible. <i>E. theron</i> : taux de parasitisme limité. <i>E. longicornis</i> : peu fréquent. <i>L. bifasciata</i> : importance moindre que <i>E. sipylus</i> . <i>A. apicalis</i> : rôle mineur. <i>A. mecirida</i> : présence anecdotique sur vigne (Sentenac, 2011)
Lampyridae : <i>Lampyris noctiluca</i> (Linnaeus 1767)					
Staphylinidae : <i>Ocypus olens</i> (O.F.Müller, 1764), <i>Aloconota gregaria</i> , <i>Ocypus brunnipes</i> , <i>Aleochara sp.</i> , <i>Anoilylus insecatus</i> , <i>Drusilla canaliculata</i>					
Chamaemyiidae : <i>Leucopomyia silesiaca</i> (Egger, 1862)					
Syrphidae : <i>Xanthandrus comitus</i> (Harris, 1780)	Diptères				
Anthocoridae (Orius), Nabidae (Nabis, Himacerus), Reduviidae (Rhynocoris), Pentatomidae ( <i>Zicrona caerulea</i> (Linnaeus, 1758)), Miridae ( <i>Deracocoris ribauti</i> et <i>D. ruber erythrocephalus</i> (Lepelletier & Serville, 1825))	Punaises				
Chrysopidae : <i>Chrysopa perla</i> , <i>C. carnea</i> , <i>C. lucasina</i> , <i>C. affinis</i> , <i>Pseudomallada prasinus</i>	Névroptères				
Coniopterygidae et Hemerobiidae					
<i>Aelothrips intermedius</i> Bagnall, <i>Scolothrips longicornis</i> Priesner (Bournier, 1983)	Thrips				
<i>Ericydnus sipylus</i> (Walker, 1837) ; <i>E. theron</i> (Triapitzin, 1982) ; <i>E. longicornis</i> (Dalman, 1820) ; <i>Leptomastixidae bifasciata</i> (Mays, 1876) ; <i>Anagyris szodensis</i> (Erdős, 1957) ; <i>Aphycus apicalis</i> (Dalman, 1820) ; <i>Allotropa mecirida</i> (Walker, 1835)	Parasitoïdes primaires de <i>Helicococcus bohemicus</i>				

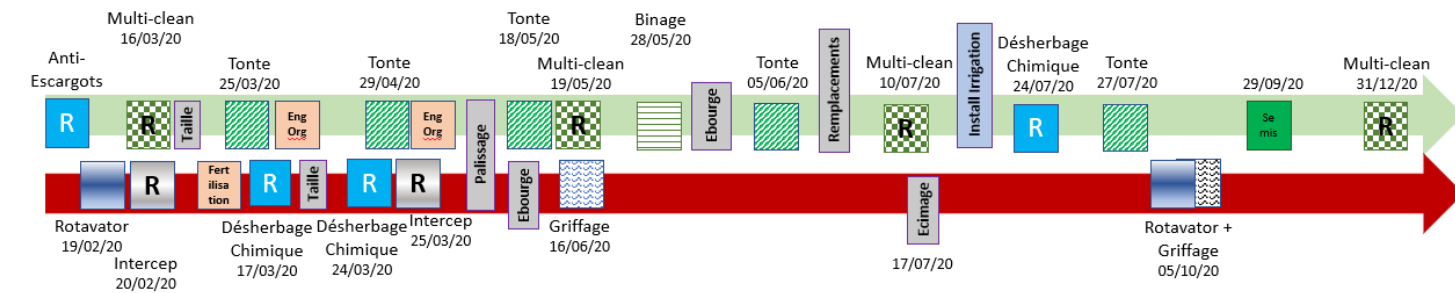
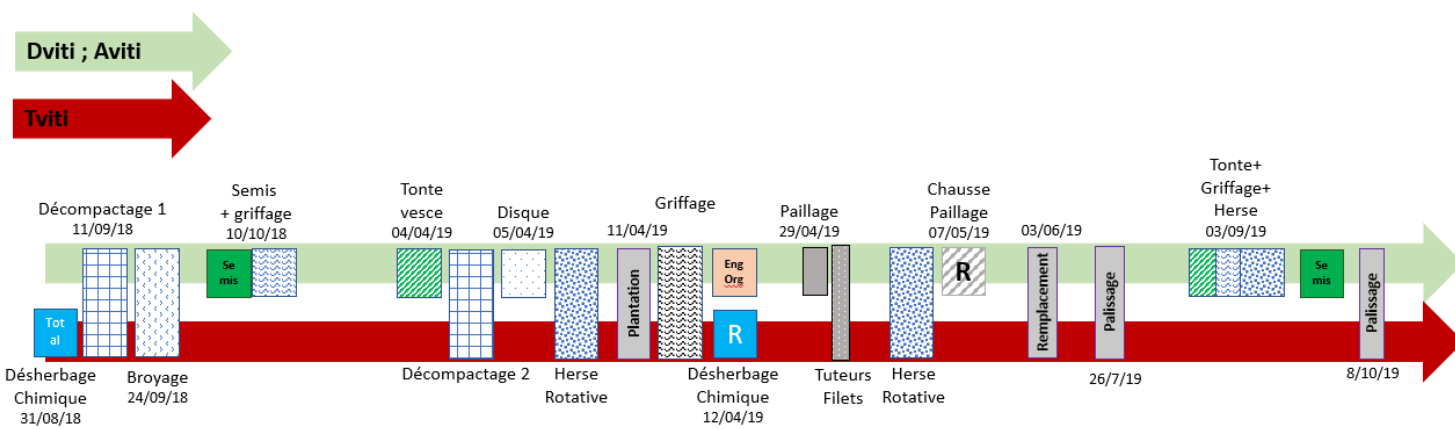




Parasitoïde de cochenille	Parasitoïdes primaires de <i>Phenacoccus aceris</i>	<i>Leptomastix bifasciata</i> (Mays, 1876) ; <i>Aphycus apicalis</i> (Dalman, 1820) ; <i>Anagrus schoenherri</i> (Westwood, 1837) ; <i>Microterys chalcostomus</i> (Dalman, 1820)	<i>Phenacoccus aceris</i> larves et femelles	<i>A. schoenherri</i> : parasitoïde majeur de <i>P. aceris</i> . <i>M. chalcostomus</i> : rôle mineur (Sentenac, 2011).
	Parasitoïdes primaires de <i>Planococcus ficus</i>	<i>Anagrus proce de pseudococci</i> ; <i>Leptomastixidea abnormis</i> (Girault), <i>Coccidoxenoïdes perminutus</i> (Timberlake)	<i>Planococcus ficus</i>	<i>A. proce de pseudococci</i> : parasitoïde principal de <i>P. ficus</i> . <i>L. abnormis</i> et <i>C. perminutus</i> : rôles mineurs (Sentenac, 2011).
	Parasitoïdes primaire de Coccidae	Metaphycus (notamment <i>M. insidiosus</i> ) ; Blastothrix (notamment <i>B. longipennis</i> ) ; Coccophagus ( <i>C. semicircularis</i> (Förster, 1841), <i>C. lycimnia</i> (Walker, 1839))	Coccidae : <i>Parthenolecanium corni</i> et <i>Pulvinaria vitis</i>	<i>M. insidiosus</i> : parasitoïde majeur. <i>B. longipennis</i> : le plus commun, parasitoïde majeur de <i>P. corni</i> . Coccophagus : parasitoïde de fin de cycle, anecdotique (Sentenac, 2011)
Parasitoïdes de tordeuses	Parasitoïdes oophages	Trichogramma ( <i>Trichogramma evanescens</i> Westwood, 1833; <i>Trichogramma cacaoeciae</i> Marchal, 1927 ; <i>Trichogramma embryophagum</i> Hartig, 1838)	Eudémis ou Cochylis	Taux de parasitisme supérieur à 50% parfois observé (Sentenac, 2011)
	Parasitoïdes larvaires et nymphaux majeurs	<i>Campoplex capitator</i> (Aubert, 1960); <i>Diadegma fenestrata</i> (Holmgren, 1860); <i>Tranosemella praerogata</i> (Linnaeus, 1758); <i>Apanteles scarius</i> (Marshall, 1885); <i>Colpochypeus florus</i> (Walker, 1839); <i>Dicaelotus inflexus</i> (Thomson, 1891)	Eudémis, Cochylis, pyrale de la vigne	<i>C. capitator</i> : parasite toutes les générations d'eudémis (taux de mortalité élevé : jusqu'à 100% des chenilles de première génération dans le Bordelais) Statut équivalent sur Cochylis. <i>D.fenestrata</i> : sur pyrale de la vigne, 20 à 75% des larves parasitées dont 2/3 par <i>D. fenestrata</i> (Sentenac, 2011)
	Parasitoïdes de <i>Empoasca vitis</i>	Mymaridae ( <i>Anagrus atomus</i> ), Pipunculidae et Dryinidae	<i>Empoasca vitis</i>	Mymaridae : parasitoïdes majeurs. Pipunculidae et Dryinidae : parasitoïdes d'importance secondaire (Sentenac, 2011).
Parasitoïdes de cicadelles et de flatides	Parasitoïdes de <i>Scaphoideus titanus</i>	<i>Anteon pubicorne</i> (Dalman, 1818) ; <i>Gonatopus clavipes</i> (Thunberg, 1827) ; <i>G. lunatus</i> (Klug, 1820); <i>G. audax</i> (Olmi, 1984)	<i>Scaphoideus titanus</i>	En 2003, Sentenac ont étudié le taux de parasitisme des parasitoïdes cités : les taux de régulation sont généralement nuls (Sentenac, 2011).
	Parasitoïdes de <i>Metcalfa pruinosa</i>	<i>Neodryinus typhlocybae</i>	<i>Metcalfa pruinosa</i>	Une femelle <i>N. typhlocybae</i> peut parasiter 60 nymphes et manger environ 50 jeunes stades de <i>M. pruinosa</i> (Mazzon et Girolami, 2002)



Annexe III : Itinéraires techniques de Septembre 2018 à décembre 2020 des systèmes Tviti, Aviti et Dviti

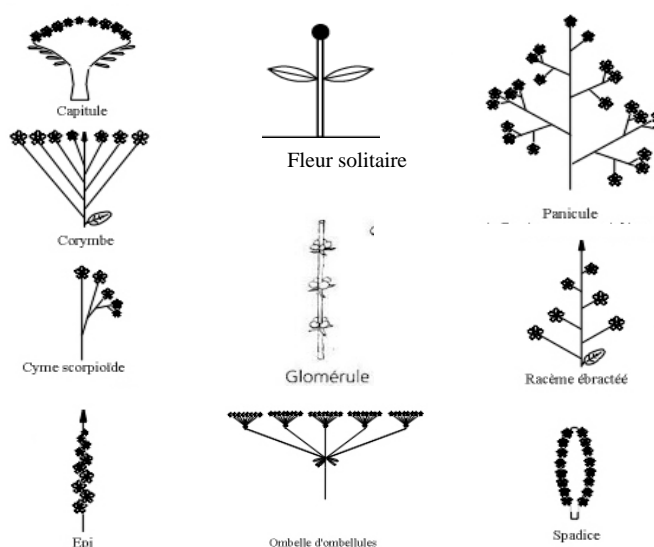




Annexe IV : Tableau avec les modalités des traits floraux récupérés sur la base de données Baseflore et schéma des différentes inflorescences

Type d'inflorescence	Couleur fleur	Pollinisation
Capitule de capitules	Jaune	Anémogame
Capitule simple	Blanc	Entomogame
Corymbe	Vert	Hydrogame
Corymbe de capitules	Rose	Apogame
Cyme bipare	Bleu	Autogame
Cyme biscopioïde	Marron	
Cyme capituliforme	Noir	

Cyme de capitules
Cyme de glomérules
Cyme d'épis
Cyme d'ombelles
Cyme multipare
Cyme unipare hélicoïde
Cyme unipare scorpioïde
Epi de capitules
Epi de cymes triflores
Epi d'épillets
Epi simple
Fleur solitaire latérale
Fleur solitaire terminale
Glomérules
Glomérules spiciformes
Ombelle d'ombellules
Ombelle simple
Ombelle simple de capitules
Ombelle simple d'épis
Panicule d'épillets
Panicule spiciforme
Racème capituliforme
Racème de capitules
Racème de cymes bipares
Racème de cymes unipares hélicoïdes
Racème de cymes unipares scorpioïdes
Racème de racèmes
Racème d'épis
Racème d'ombelles
Racème simple
Spadice



(Sources : Martin, 2020)



Annexe V : Tableau de la liste des variables obtenues à la suite de l'échantillonnage de la faune et la flore sur le dispositif expérimental.

		Faune		Flore		Climat	
		Fonctionnel	Taxonomique	Fonctionnel	Taxonomique		
Quantitatives	Abondance	Prédateur, pollinisateur, phytophage	Hyménoptère, araignée, coléoptère, diptère, opilions, totale				
	Richesse	Prédateur, pollinisateur, phytophage	Hyménoptère, araignée, coléoptère, diptère, opilions, totale		Richesse spécifique : nombre d'espèces		
	Pourcentage				Taux de recouvrement des espèces		
	Autre				% sol nu % fleuri % espèce dominante		
					Durée de floraison, nombre d'unité florale, diamètre de l'unité florale, hauteur florale		
	Indices		Shannon		Shannon Equitabilité	Précipitations cumulées, moyenne températures (maximale, minimale, moyenne journalière), vitesse du vent.	
Qualitatives	Traits fonctionnels			Type d'inflorescence, type de pollinisation, couleur de fleur			





Annexe VI : Résultats des Anovas sur les variables de la faune auxiliaire réalisées avant cumul des données.

(a) Résultats des Anovas des variables de la faune selon cinq variables explicatives étudiées. Juin 2019-2020-2021. Une p-value <0.05 signifie qu'au moins une des modalités est significativement différentes des autres. Les valeurs en blanc ne sont pas significatives. Les valeurs rouges sont les plus significatives et les cases grises sont non renseignées (Le modèle sélectionné ne sélectionné ne comprenait pas la variable explicative).

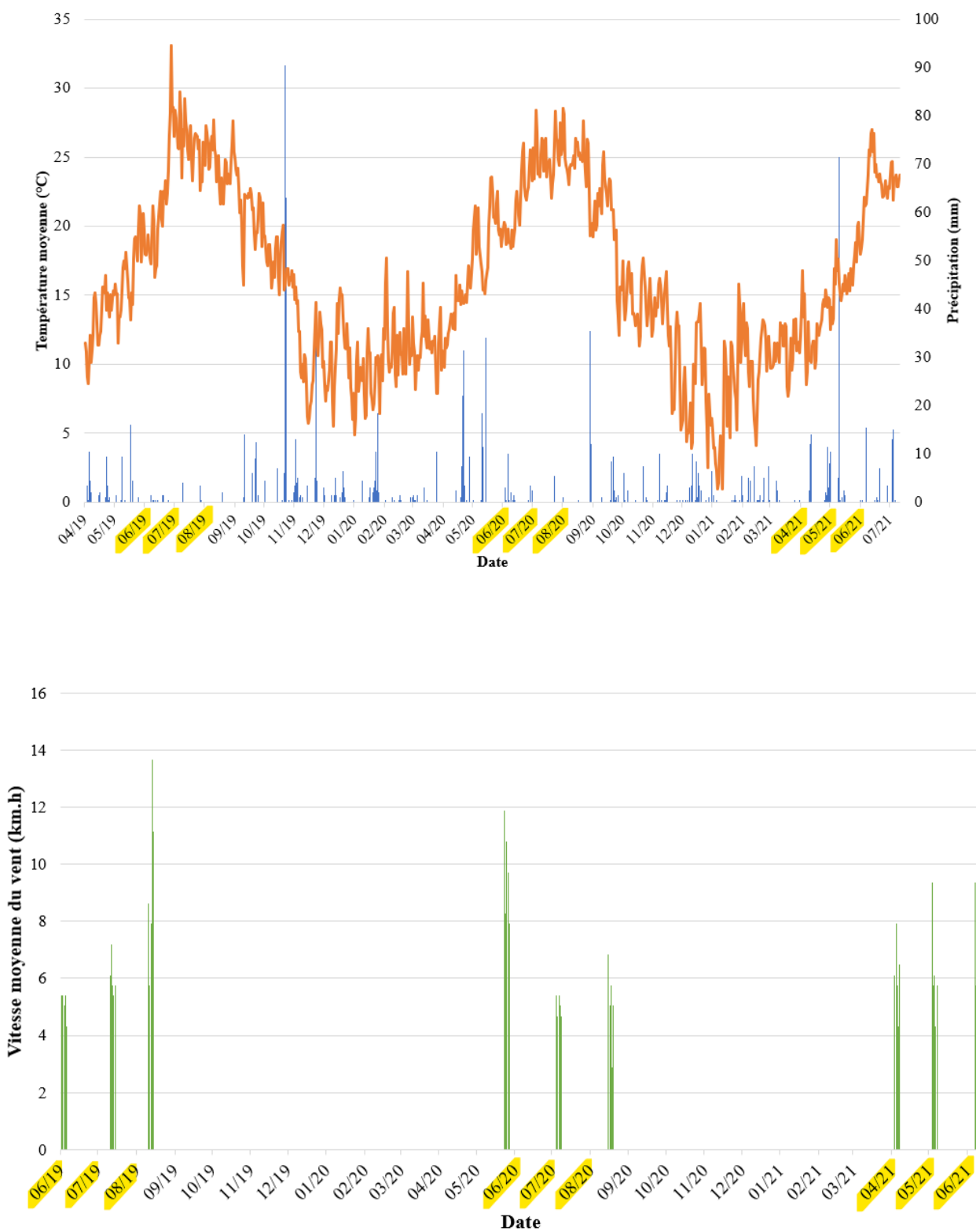
Variables étudiées	Variables explicatives				
	Système	Type de piège	Année	Couleur	Année:Système
Richesse totale	0.6	9e-07	1.5e-06		1.4e-05
Richesse prédateur	0.082	0.016	9.9e-05		2.1e-06
Richesse pollinisateur	0.3	7e-07	2.4e-06	0.00088	1.2e-05
Richesse hyménoptère	0.15	4.8e-07	0.00027	0.0011	1.5e-05
Richesse araignée	0.057		0.0048		0.00018
Abondance totale	0.48		1.7e-15		4.4e-11
Abondance prédateur	2e-04	0.0029	1.3e-09		1.6e-10
Abondance pollinisateur	0.42	0.0024	3.4e-15		2.1e-11
Abondance hyménoptère	0.61	0.00084	2.5e-13		2.3e-11
Abondance araignée	0.018		0.00014		3.1e-06

(b) Résultats des Anovas des variables de la faune selon cinq variables explicatives étudiées. Année 2021. Une p-value <0.05 signifie qu'au moins une des modalités est significativement différentes des autres. Les valeurs en blanc ne sont pas significatives. Les valeurs rouges sont les plus significatives et les cases grises sont non renseignées (Le modèle sélectionné ne sélectionné ne comprenait pas la variable explicative).

Variables étudiées	Variables explicatives				
	Mois	Système	Type de piège	Couleur	Système:Mois
Richesse totale	0.54	0.0063	1.7e-29	0.85	
Richesse prédateur	2e-09	0.16	2.4e-09		0.00014
Richesse pollinisateur		0.088	0.0039		1.7e-14
Richesse phytophage		0.088	0.0039		1.7e-14
Richesse hyménoptère	1.1e-05	0.0017	0.00024		0.006
Richesse coleoptère	3.2e-07	0.21	0.0014		
Richesse araignée	0.086	0.34	0.025		0.0066
Abondance totale	0.082	1.6e-25	5.2e-47	1.1e-06	1.5e-05
Abondance prédateur	9.3e-13	0.13	1.3e-10		1.9e-05
Abondance pollinisateur	2.5e-60	0.11	5.5e-11		6.9e-12
Abondance phytophage	7.7e-14	1e-04	4.7e-29	0.042	
Abondance opilion	2.7e-08	0.47	0.93		
Abondance hyménoptère	1.9e-27	0.078	5.5e-15		1.1e-13
Abondance diptère	4.5e-14	0.02	4.8e-71		
Abondance coléoptère	1.2e-12	0.019	0.00065	0.018	
Abondance araignée	0.037	0.46	0.025		0.00018



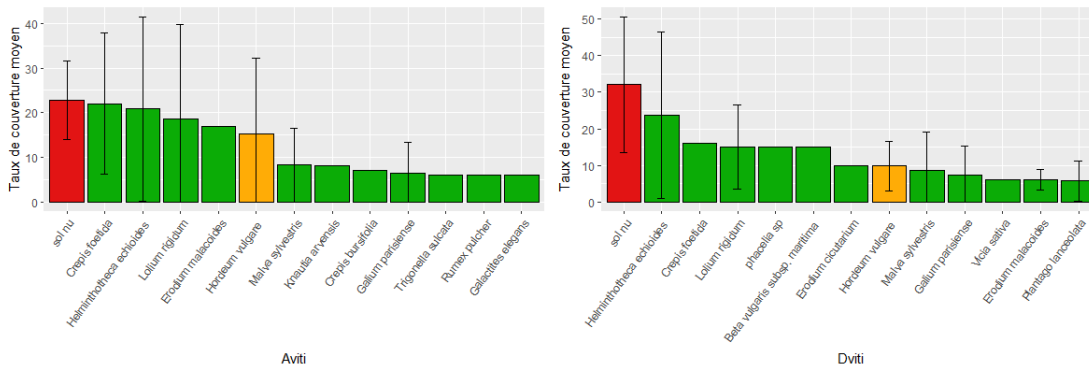
**Annexe VII** : Les conditions climatiques (Température moyenne, précipitations et vitesse moyenne du vent) entre 2019 et 2021. *Les mois surlignés en jaune sont les mois pendant lesquels les échantillonnages ont eu lieu.*



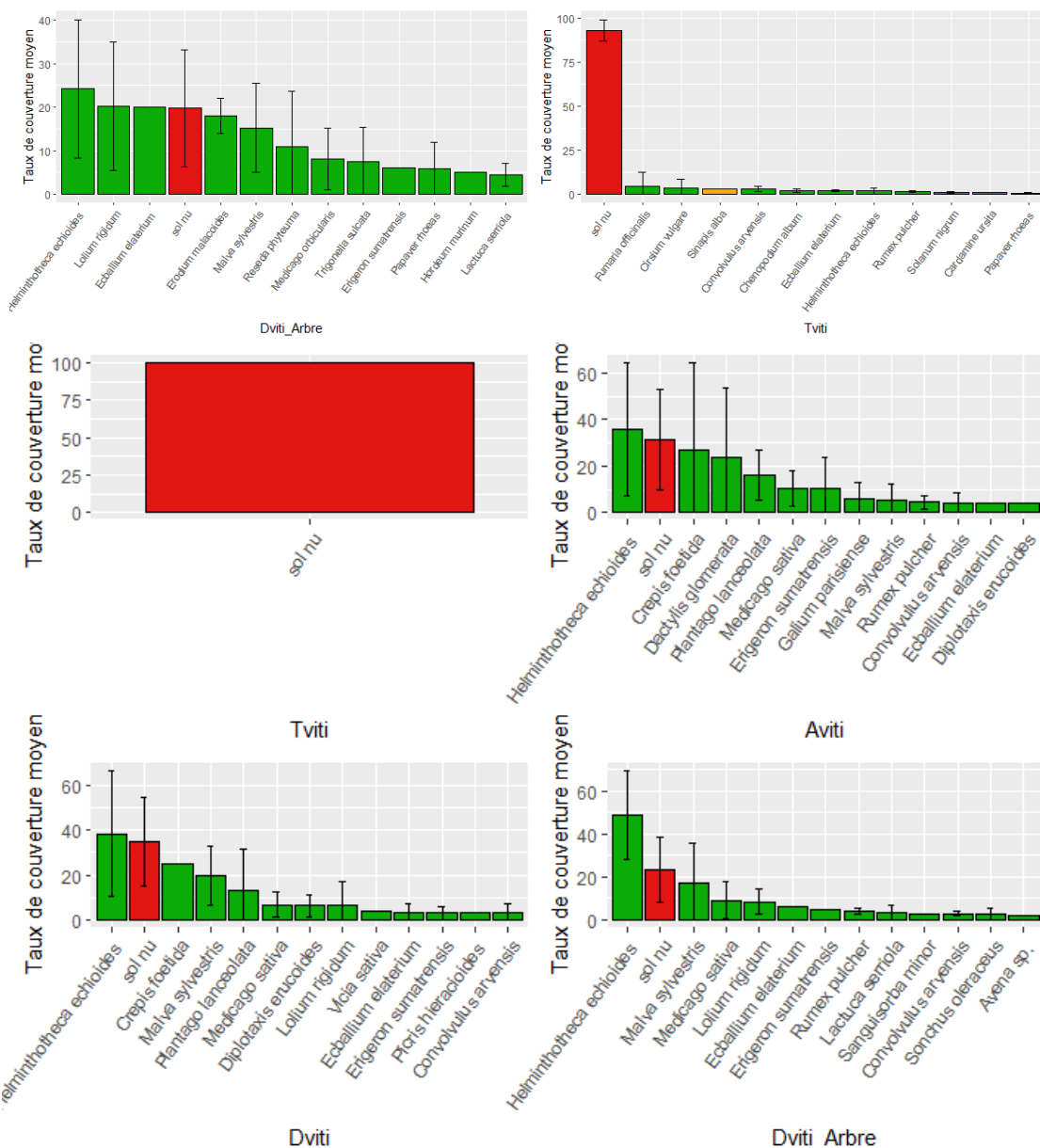


**Annexe VIII** : Description des couverts végétaux en avril et en juin. Barplot du taux de recouvrement moyen des 12 espèces les plus présentes pour chaque système au mois d'avril (a) et juin (b) 2021. Rouge : sol nu ; Vert : Espèces spontanées ; Jaune : Espèces semées. (c) : Boxplot et résultats des tests post-hocs de l'indice de Shannon. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre modalités. (d) Matrice de Bray-Curtis des communautés des couverts de chaque système.

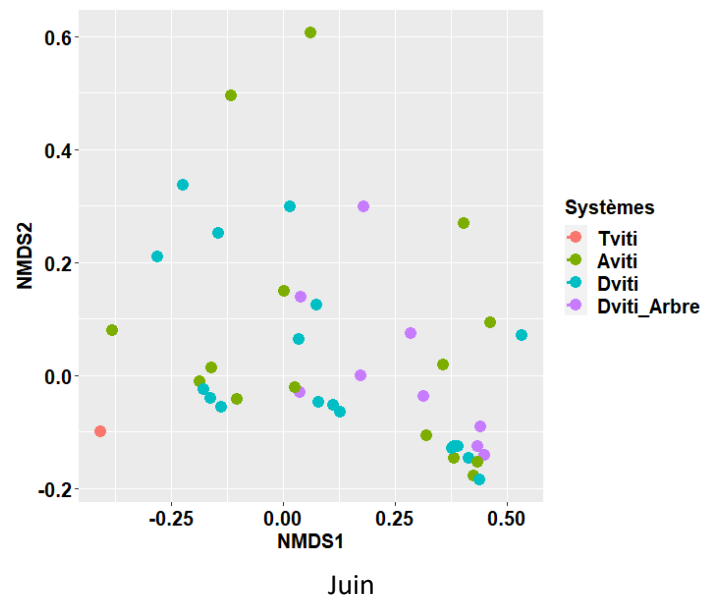
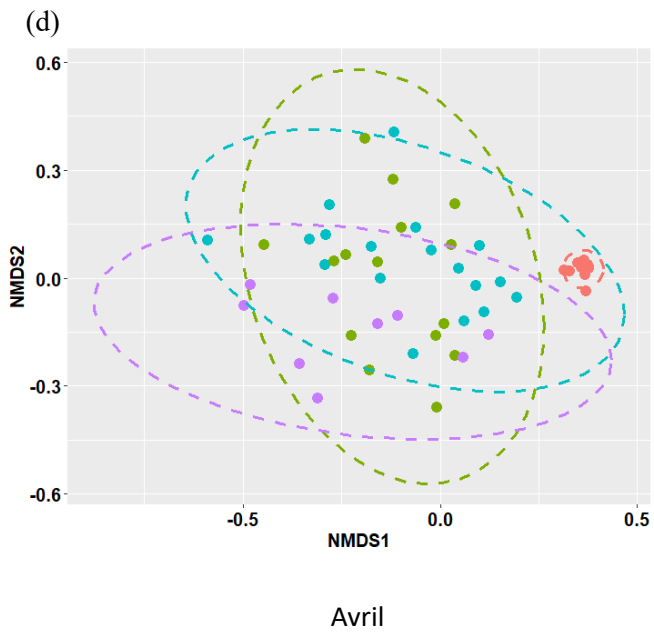
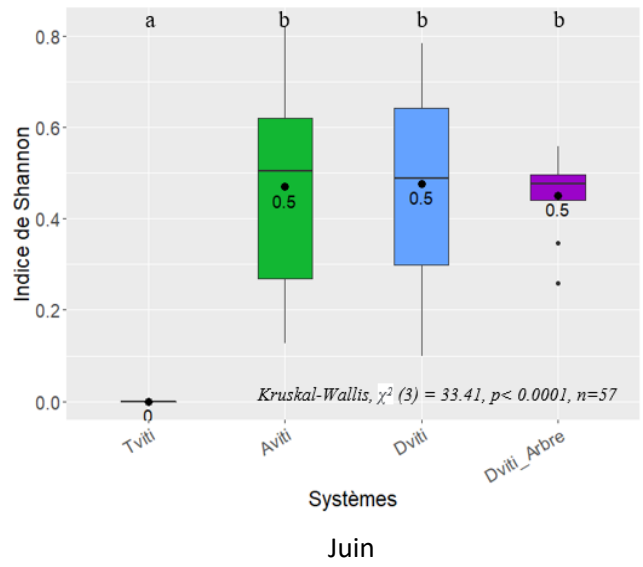
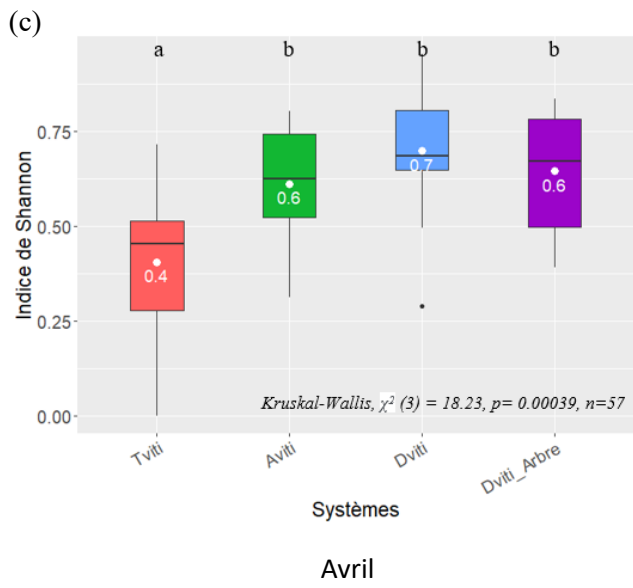
(a)



(b)











## Fiche d'identification

Nom et Prénom de l'auteur : TABARY Lou

Titre du mémoire : Analyse de la biodiversité taxonomique et fonctionnelle de la faune auxiliaire dans des systèmes viticoles agroécologiques présentant un gradient de diversification

Ecole d'inscription : MSA

Lieu du stage : L'UMR ABSys, INRAe de Montpellier, L'Institut Agro - Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 2

### RESUME

Diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires est un enjeu crucial en agriculture. La viticulture est une culture très dépendante aux pesticides, notamment les insecticides. Une solution alternative à leur utilisation serait de favoriser la présence d'auxiliaires sur la parcelle afin d'augmenter les régulations naturelles. Améliorer la biodiversité végétale sur la parcelle permettrait de fournir abris et ressources alimentaires pour les auxiliaires de culture. Au cours de mon stage, nous avons étudié quatre systèmes viticoles présentant des degrés de diversification différents et chercher à observer leurs impacts potentiels sur la présence d'auxiliaires. Nous avons caractérisé l'entomofaune présente sur la parcelle et étudié la biodiversité des couverts d'un point de vue taxonomique et fonctionnel. Deux ans après plantation, quelques indicateurs de biodiversité de l'entomofaune répondent positivement à la diversification des systèmes, et il a été mis en évidence des corrélations positives entre certains traits fonctionnels des couverts et la présence d'ennemis naturels. Cependant, peu de différences sont observées à l'heure actuelle, et des études complémentaires pourrait nous permettre d'étudier l'intérêt d'intégrer de la biodiversité végétale dans les systèmes viticoles pour favoriser les régulations naturelles.

**Mots-clés :** Agroécologie - Biodiversité fonctionnelle - Auxiliaires de culture - Lutte biologique par conservation - Viticulture

### ABSTRACT

Reducing the use of phytosanitary products is a crucial issue in agriculture. Viticulture is very dependent on pesticides, especially insecticides. An alternative to their use would be to enhance the presence of auxiliaries on the field in order to increase natural pest control. Improving plant biodiversity in the cropping system would provide shelter and food resources for natural enemies. During my internship, we studied four vineyards systems presenting different degrees of plant diversification with the aim to observe their potential impacts on the presence of auxiliaries. We characterized the entomofauna in each system and studied the biodiversity of the cover crop from a taxonomic and functional point of view. Two years after planting, some indicators of the entomofauna biodiversity already respond positively to the plant diversification of systems, and positives correlations between certain functional traits of cover crop and the presence of auxiliaries have been observed. Overall, few differences are observed at this point, and further studies would allow us to study the value of integrating plant biodiversity into vineyards to promote natural pest control.

**Keywords:** Agroecology – Functional biodiversity – Natural enemies – Conservation biocontrol – Vineyard