

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers Site de Rennes

Année universitaire : 2021-2022

Spécialité : Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

PPE-H

Mémoire de fin d'études

- d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Augmentation de la biodiversité au sein de vignes bas intrants Quelles conséquences sur les régulations biologiques ?

Par : Maïna BON



Soutenu à Angers le 06/09/2022

Devant le jury composé de :

Président : Bruno JALOUX

Maître de stage : Raphaël METRAL

Enseignant référent : Josiane Le CORFF

Autres membres du jury M. LAFOND Institut Français de la Vigne et du Vin

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

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



Remerciements :

Je voudrais remercier en premier lieu, Raphaël Métral, mon maître de stage, qui a toujours été à l'écoute, et qui a su partager son expérience avec beaucoup d'humilité.

Je voudrais remercier en second lieu Josiane Le Corff qui a su m'indiquer la route à suivre et me mettre sur les rails pour le départ de ce périple.

Je voudrais également remercier Elena Kazakou, Marie-Stéphane Tixier et Aurélie Métay dont le regard bienveillant m'a éclairé quand j'avais besoin d'un œil extérieur.

Je voudrais remercier Gaïa Krafft et Léo Garcia qui ont su décoder bon nombre de mes problèmes.

Je voudrais remercier mon essaim de stagiaires qui a partagé mon quotidien, mes tracas et mes joies et m'ont tant appris sur les bénéfices d'une ruche saine, sur l'efficacité des plus petites abeilles pour polliniser les plus grands champs des possibles, et sur l'importance de se poser pour mieux s'envoler.

Je voudrais plus particulièrement remercier mes collègues de la grotte, pour leurs conseils, leur bonne humeur quotidienne et leur café.

Je voudrais remercier mes colocataires Gabriel Robin et Ambroise Leroy pour m'avoir nourrie et choyée dans les temps de rédaction les plus durs.

Je voudrais remercier Clément Enard et Yvan Bouisson qui m'ont tant appris sur la vigne, sur l'enherbement, sur et sur la joie d'aller travailler quand on aime ce que l'on fait.

Enfin je voudrais remercier l'INH pour ces belles années.

Sommaire

Contexte	8
I/ Synthèse bibliographique	9
1. L'importance de la biodiversité.....	9
2. Mise en contexte de la culture de la vigne	11
3. Les inter-rangs semés un levier d'action pour la biodiversité.....	15
4. L'agroforesterie un autre degré de diversification	19
5. Hypothèses de l'étude.....	25
II/ Matériel et méthode	25
1. Présentation de la parcelle d'expérimentation et des 3 systèmes	25
2. Echantillonnage : quand et comment sont récoltées les données	27
3. Description des variables	31
4. Analyses statistiques	31
III/Résultats	32
1. Analyses des couverts	33
2. Analyse de la faune	35
IV/Discussion	41
V/Conclusion	49
VI/Bibliographie	53
VII/ Annexes	60

Table des figures

Figure 1 : Adaptation of the above framework to the effects of different inter-row soil management in the vineyards (such as tillage, cover plants and spontaneous vegetation) to species traits and their effects on different ecosystem processes and ecosystem services (Kazakou et al. 2016).

Figure 2 : Relation hypothétique entre la biodiversité et les perturbations selon l'hypothèse de perturbation intermédiaire (Bruggisser et al. 2010).

Figure 3 : Schéma de la parcelle expérimentale du Chapitre représentant les trois systèmes et les placettes, source rapport de stade de fin d'étude (Tabary 2021).

Figure 4 : Richesse spécifique totale des espèces végétales par système (Bon 2022).

Figure 5 : Abondance des couverts par système (Bon 2022).

Figure 6 : Indices de Shannon par système (Bon 2022).

Figure 7 : Barplots des taux de recouvrement moyen des espèces majoritaires du mois de mai par système. Les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type (Bon 2022).

Figure 8 : Heat map des modèles linéaires généralisés mixtes, de l'impact de toutes les variables explicatives sur la variable réponse (Bon 2022).

Figure 9 : Heat map des modèles linéaires généralisés mixtes, de l'impact des variables explicatives sur la variable réponse (Bon 2022).

Figure 10 : Richesse spécifique totale des arthropodes par système (Bon 2022).

Figure 11 : Abondance totale des arthropodes par système (Bon 2022).

Figure 12 : Richesse spécifique des pollinisateurs par système (Bon 2022).

Figure 13 : Abondance des pollinisateurs par système (Bon 2022).

Figure 14 : Richesse spécifique des phytophages par système (Bon 2022).

Figure 15 : Abondance des phytophages par système (Bon 2022).

Figure 16 : Richesse spécifique des prédateurs par système (Bon 2022).

Figure 17 : Abondance des prédateurs par système (Bon 2022).

Figure 18 : Richesse spécifique des araignées par système (Bon 2022).

Figure 19 : Abondance des araignées par système (Bon 2022).

Figure 20 : Richesse spécifique des hyménoptères par système (Bon 2022).

Figure 21 : Abondance des hyménoptères par système (Bon 2022).

Figure 22 : Richesse spécifique des coléoptères par système (Bon 2022).

Figure 23 : Abondance des coléoptères par système (Bon 2022).

Figure 24 : Richesse spécifique d'opilions par système (Bon 2022).

Figure 25 : Abondance d'opilion par système (Bon 2022).

Figure 26 : Matrice des corrélations entre les variables de la faune et de la flore (Bon 2022).

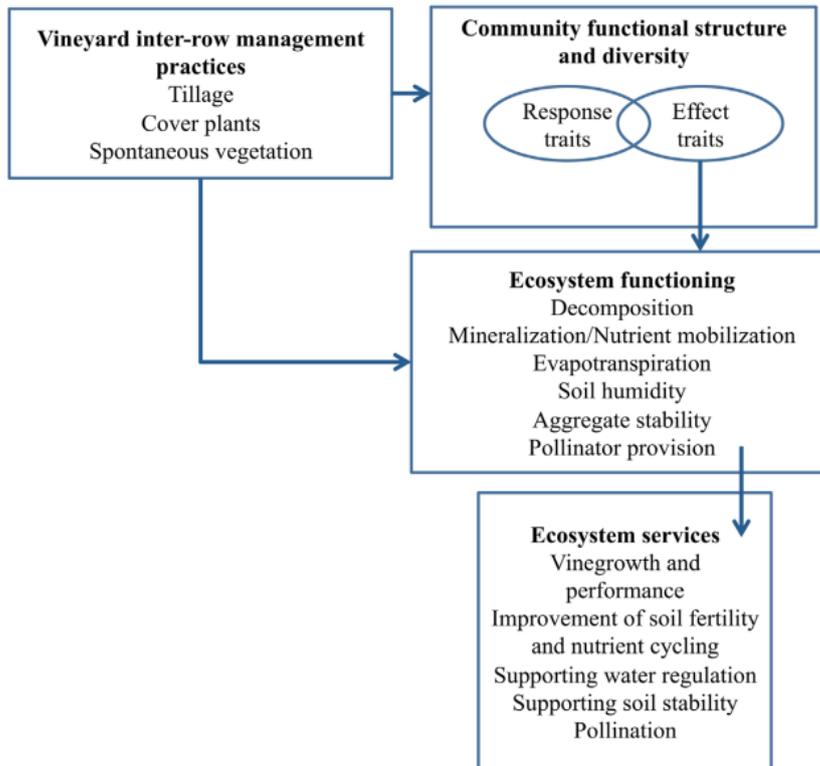


Figure 1: Adaptation of the above framework to the effects of different inter-row soil management in the vineyards (such as tillage, cover plants and spontaneous vegetation) to species traits and their effects on different ecosystem processes and ecosystem services (Kazakou et al. 2016).

CONTEXTE

Le projet DEPHY EXPE SALSA, Systèmes viticoles Agroécologiques mobilisant la résistance variétale et les régulations naturelles, s'appuie sur trois sites aux contextes pédoclimatiques différents : la région Bordelaise, Alsacienne et le Languedoc. Le projet vise à explorer des leviers d'actions agroécologiques dans le but de réduire les IFT (Indice de Fréquence de Traitement) en vigne de 80 à 100 %. Parmi les leviers d'actions mis en place, on retrouve l'utilisation de variétés résistantes à l'oïdium et au mildiou, une gestion des sols sans herbicides et favorisant des couverts végétaux de service, semés et spontanés, la mise en place d'infrastructures agroécologiques telles que de l'agroforesterie ou des haies en périphérie de la parcelle, et enfin l'utilisation de traitements phytosanitaires en dernier recours.

I/ SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. *L'importance de la biodiversité*

→ Constat d'un déclin de la biodiversité en général et plus précisément dans les agrosystèmes

Aujourd'hui le constat d'un déclin de la biodiversité à l'échelle mondiale est sans appel (Guenser et al. 2018 ; Winter et al. 2018). Les systèmes agricoles et notamment l'agriculture intensive, ont une part de responsabilité non négligeable dans ce phénomène. En effet, la simplification des paysages, la monoculture et les traitements phytosanitaires sont autant d'éléments qui mettent en péril l'équilibre des écosystèmes touchés. La volonté d'obtenir de meilleurs rendements a fait naître des systèmes agricoles basés sur la productivité, favorisant la monoculture pour y parvenir, mais réduisant ainsi la complexité environnementale et donc la biodiversité qui y est associée (Varah 2013).

→ Des services écosystémiques apportés par la biodiversité (soutien, régulation, approvisionnement, culturel)

Les fonctionnements des écosystèmes étant largement impactés, les services écosystémiques rendus par ceux-ci s'en retrouvent amoindris. Cette notion de services écosystémiques a été créée pour illustrer les bénéfices rendus par les écosystèmes à la société, comme le service d'approvisionnement (denrées alimentaires, fibres textiles...) les services culturels (bien immatériels, spirituels, loisirs...) et les services de régulations (régulation du climat, de l'érosion des sols, des populations de ravageurs des cultures, de purification de l'eau, de pollinisation des cultures...) (figure 1). Il est donc important de trouver un compromis entre une production agricole stable et rentable et une préservation de ces écosystèmes qui régulent notre environnement (Varah 2013 ; Winter et al. 2018).

→ Zoom sur la régulation naturelle, définition et concepts écologiques

Parmi tous les services écosystémiques cités précédemment, le service de régulation biologique sera particulièrement étudié. La régulation biologique fait appel au principe de biodiversité fonctionnelle. Il s'agit d'une classification de la biodiversité, qui rassemble la faune en catégories de fonctions rendues aux écosystèmes (pollinisateurs, phytophages, parasitoïdes, prédateurs) par opposition au point de vue taxonomique (Ecophytopic 2007). La principale approche de la lutte contre les bioagresseurs, fondée sur l'écologie, consiste à accroître la diversité végétale et la complexité de l'agroécosystème, afin d'établir des interactions bénéfiques en favorisant les ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) ce qui permettrait le contrôle des bioagresseurs (Gurr et al. 2004). De cette manière, les mécanismes naturels de lutte contre les ravageurs sont favorisés. Certaines hypothèses admises par la communauté scientifique étayent ce concept :

L'hypothèse de spécialisation des ressources implique que l'augmentation de la biodiversité végétale augmente la diversité des ressources et attire donc une plus grande diversité de phytophages (Chapin et al. 1997). Le concept de régulation « bottom up », c'est-à-dire la régulation des phytophages par la présence de végétaux, est lié à l'hypothèse précédente (Hunter et al. 1992).

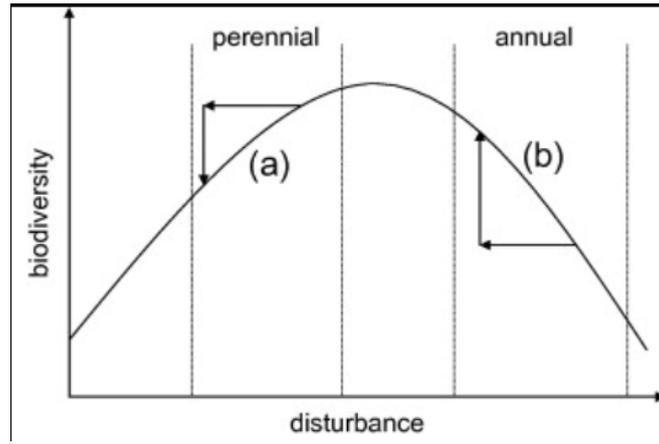


Figure 2 : Relation hypothétique entre la biodiversité et les perturbations selon l'hypothèse de perturbation intermédiaire (Bruggisser et al. 2010).

L'hypothèse du plus d'individus suggère que plus la biomasse végétale est importante, plus les ressources alimentaires le sont, et plus il y a de ressources pour un grand nombre d'individus par espèces (Srivastava et al. 1998).

L'hypothèse des ennemis suppose qu'une plus grande diversité végétale entraîne une diversité de ressources plus importante (nectar, pollen ...) et attire donc plus de proies, attirant à leur tour plus d'ennemis naturels (Letourneau 1987).

Ces hypothèses s'imbriquant les unes dans les autres, on peut résumer le concept suivant : augmenter la diversité et l'abondance végétale multiplie et diversifie les ressources, ce qui attire une plus grande diversité d'espèces de la faune et augmente l'abondance totale, ainsi les ennemis naturels ont un panel et une quantité de proies ou d'hôte plus importants.

Une gestion plus extensive, par opposition au travail du sol ou à l'utilisation d'herbicides, laisserait place à plus de diversité végétale, par le biais d'une gestion des couverts spontanés ou semés avec un pilotage renforcé. Cette conduite des couverts pourrait permettre d'augmenter le nombre d'espèces de la faune présente sur la parcelle. Une méta analyse de 2018, sur les effets de la gestion de la végétation au sein des vignobles montre que la biodiversité augmente de 20 à 50% lors du passage à la gestion dite extensive. Une baisse du nombre de ravageurs a été observée sans pour autant montrer d'effets significatifs sur les ennemis naturels (Winter et al. 2018).

→ Les régulations naturelles en système pérenne, différents niveaux de perturbation

L'hypothèse des ennemis correspond au concept de la régulation « top down », qui corrèle positivement l'augmentation du nombre de prédateurs à l'augmentation d'un nombre de proies potentielles (Hunter et al. 1992). Dans notre cas, on peut supposer que l'augmentation du nombre de phytophages entraînera l'augmentation du nombre d'ennemis naturels de ces espèces.

Les cultures annuelles impliquent un fort niveau de perturbation, c'est-à-dire une détérioration provisoire et régulière de l'environnement. L'agriculture biologique ou extensive, sans travail du sol et avec un désherbage moins fréquent, a généralement un aspect positif sur la biodiversité, en diminuant ces perturbations par un impact moins radical sur l'environnement. Cependant, dans le cas particulier des cultures pérennes moins sujettes à ces modifications de l'environnement, les perturbations du milieu, notamment sur l'inter-rang peuvent augmenter la biodiversité (figure 2) (Bruggisser et al. 2010).

Ainsi la dualité de culture pérenne (vigne) et annuelle (en inter-rang) offre des niveaux de perturbations différents, ce qui est intéressant pour la diversification des ressources et de la faune (Bruggisser et al. 2010).

2. Mise en contexte de la culture de la vigne

→ Le contexte de production

Le biome méditerranéen se caractérise par une riche biodiversité endémique, il est donc très important de le préserver (Rosas-Ramos et al. 2018). Aujourd'hui la majorité des vignobles du Languedoc sont gérés de manière intensive (FranceAgriMer 2019). Parmi les conséquences de ces conduites de culture, on note une simplification des paysages, et l'application de nombreux pesticides (IFT de 14,7 pour 19 traitements), notamment de fongicides (80% des IFT), d'insecticides (13% des IFT) et dans une moindre mesure d'herbicides (4,5 % des IFT) (IFV 2016). La faible proportion d'herbicides dans les traitements est expliquée par un travail du sol, dans le but d'éviter une concurrence hydro-azotée entre la vigne et les couverts présents. Ces choix d'itinéraires culturaux sont préjudiciables pour la biodiversité et pour les services écosystémiques apportés (Guenser et al. 2018 ; Winter et al. 2018; Paiola et al. 2020). Il est donc impératif de revenir à une gestion plus extensive de ces cultures et ce, via différents leviers, certains très concrets comme le paillage du rang afin d'éviter une concurrence

trop importante entre les espèces végétales et la vigne, ou des leviers moins directs, comme la diversification végétale des inter-rangs.

En effet, les vignes étant des cultures pérennes elles pourraient offrir un habitat stable en association avec des couverts diversifiés en inter-rangs favorisant les pollinisateurs ainsi que des ennemis naturels des ravageurs (Winter et al. 2018). Ainsi les vignes participeraient à favoriser la biodiversité et par la même occasion, bénéficieraient des services écosystémiques engendrés. Cependant, on note un manque de connaissances sur l'impact de la faune favorisée par la diversification des inter-rangs, ce qui justifie l'étude de cette thématique (Winter et al. 2018).

- La gestion de l'enherbement pour maîtriser la concurrence hydro-azotée

Dans les vignobles français, le choix d'enherbement et le désherbage mécanique (travail du sol) constituent les principaux leviers de gestion mobilisés dans les systèmes. Les herbicides sont utilisés dans 20 % des systèmes et uniquement pour la maîtrise de l'herbe sous le rang (IFV 2019).

Le climat méditerranéen étant particulièrement sensible au stress hydrique, l'Institut Français de la Vigne et du Vin déconseille un enherbement total de la parcelle (IFV 2019). Cependant, une alternative permettant de diminuer l'utilisation d'herbicides, est l'enherbement sous le rang et le désherbage mécanique des inter-rangs, avec un enherbement à hauteur de 20 à 30 % de couverture, ce qui permet de limiter la concurrence hydro-azotée pouvant affecter la vigueur de la vigne. La tolérance à l'enherbement dépend de la profondeur du sol et donc des réserves utiles hydriques disponibles (IFV 2019). Les viticulteurs languedociens, concernés par les enherbements, emploient majoritairement une autre stratégie : la couverture totale pendant la dormance de la vigne et sa réduction à la moitié des inter-rangs après le débourrement (Fernández-Mena et al. 2021).

Un essai en Costière de Nîmes a montré que l'enherbement sur le rang, principalement composé de graminées, a asséché les sols sur les horizons superficiels (30 premiers cm) au printemps, en raison de la consommation hydrique importante du couvert à cette saison. Cependant, après le printemps, la disponibilité en eau n'est plus impactée. Ici, le statut hydrique de la vigne n'a pas été impacté, et l'essai note même une meilleure infiltration des pluies d'été (IFV 2019).

Les couverts concurrencent la vigne sur les ressources en azote, et il est donc nécessaire de surveiller sa vigueur, qui pourrait nécessiter une adaptation de la stratégie de fertilisation. L'âge de l'implantation est également à prendre en compte, avec une compétition pouvant être plus importante la deuxième année, puis diminuer avec l'adaptation du système racinaire de la vigne, plus apte à concurrencer les couverts (IFV 2019).

L'enherbement sur le rang peut se composer d'espèces spontanées et/ou semées. Les espèces spontanées sont moins faciles à contrôler et peuvent s'avérer être très concurrentielles. Cependant, l'aspect spontané du couvert permet d'économiser du temps de travail sur sa mise en place. Dans le cas où la flore spontanée est jugée trop concurrentielle, trop difficile à contrôler ou au contraire trop peu développée, on peut opter pour des couverts semés. Cela permet de choisir la flore implantée et donc la concurrence hydro-azotée. Le choix des espèces se base sur l'aspect peu concurrentiel, avec par exemple des graminées (fétuques, brome, dactyles) ou des espèces couvrantes mais à faible développement aérien (IFV 2019). Concernant les couverts en inter-rangs, on peut également retrouver des espèces de légumineuses qui ont un intérêt pour la maîtrise de la concurrence azotée (Mini guide de l'enherbement, 2019).

Dans le but de maîtriser le niveau de concurrence hydro-azotée du couvert, le développement des couverts est contrôlé, notamment sur le rang mais aussi dans l'inter-rang. On favorise la tonte, mais on peut aussi rouler le couvert en inter-rang. Les décisions de gestion sont notamment impactées par la hauteur du couvert, son stade de développement, sa mise à graine et sa pérennité (IFV 2019).

L'enherbement uniquement en inter-rang est plus contraignant pour la vigueur de la vigne que l'enherbement uniquement sous le rang, en raison de sa surface de recouvrement plus importante (50

à 70%). Il peut offrir d'autres bénéfices, notamment comme les gains de biodiversité évoqué précédemment, ce qui justifie l'étude de ces nouveaux modes de gestions.

- Les principaux bioagresseurs

Les principaux bioagresseurs considérés dans notre étude sont la flavescence dorée (*Candidatus phytoplasma vitis*), un phytoplasme transmis par la cicadelle *Scaphoideus titanus*, et le ver de la grappe *Eudemis (Lobesia botrana)*. La flavescence dorée est une maladie de lutte obligatoire. Il n'existe à ce jour aucun prédateur naturel connu de la cicadelle vectrice (IFV 2022). Il existe deux méthodes de lutte intégrée contre *Scaphoideus titanus*. La première est le système push-pull qui consiste, d'une part, à repousser le ravageur de la culture principale et d'autre part, à l'attirer sur une autre espèce, pour pouvoir éliminer le bioagresseur plus facilement. La deuxième est la confusion sexuelle qui se base sur la perturbation des signaux intervenant dans sa reproduction. *Scaphoideus titanus* localise son partenaire via des vibrations. Le but est donc de brouiller ces vibrations pour que les mâles et les femelles ne se trouvent pas (Chuche et al. 2014a ; Chuche et al. 2014b). Concernant le ver de la grappe *Eudemis (Lobesia botrana)*, des agents de biocontrôle existent, comme une *myricaceae* japonaise (Sugiura et al. 2001) ou des biopesticides, dont le plus utilisé est *Bacillus thuringiensis* (Safaralizadeh et al. 2016). Il existe également un type de confusion sexuelle qui consiste à diffuser les phéromones sexuelles habituellement émises par la femelle, en grande quantité pour que les récepteurs du mâle soient saturés et qu'il ne puisse plus localiser la femelle (IFV 2022 ; ITAB 2022).

3. Les inter-rangs semés, un levier d'action pour la biodiversité

Comme évoqué précédemment, la végétation dans les inter-rangs est couramment supprimée, pour éviter la concurrence avec la vigne, pour les ressources hydriques et les nutriments. Pourtant, la littérature scientifique montre qu'en fonction des paramètres climatiques, de l'irrigation et de la gestion de la végétation, les inter-rangs constitués d'une flore plus abondante ne pénalisent pas toujours la vigueur de la vigne (Winter et al. 2018). De plus, les services écosystémiques rendus par la biodiversité ne sont pas encore bien connus et des recherches à ce sujet sont nécessaires (Paiola et al. 2020). Il est donc pertinent de reconsidérer la gestion des inter-rangs.

- Moyen de gestion des couverts

Le mode de contrôle des couverts influe sur leur composition, et donc leur concurrence avec la culture mais aussi leur impact sur la biodiversité. Par exemple, dans une étude de 2019, le fauchage a entraîné le développement de communautés floristiques ayant : une concurrence faible avec la culture, une diversité spécifique végétale accrue et un recouvrement plus élevé en hiver, tandis que les communautés présentes après un traitement herbicide avaient une compétitivité plus élevée et une valeur de biodiversité plus faible (MacLaren et al. 2019).

Cela montre l'intérêt, à la fois du mode de régulation des couverts mais aussi l'importance de leur présence et de leur gestion pour la biodiversité. D'autre part, les couverts en inter-rang rendent aussi d'autres services écosystémiques, comme la lutte contre l'érosion, la séquestration de carbone ou encore la fertilité des sols (Winter et al. 2018), mais ceux-ci ne seront pas étudiés ici.

La diversification végétale peut se concevoir à différentes échelles (celle de la parcelle, de l'exploitation, du paysage ...), mais seule l'échelle de la parcelle sera considérée ici. D'autre part, les plantes indigènes (dont les plantes endémiques) et les couverts semés ont tous deux un rôle dans la diversification végétale et dans l'augmentation de biodiversité. Néanmoins, seule la notion de diversification végétale sera abordée, l'impact du type de végétation (indigène, semée) ne sera pas pris en compte dans cette étude.

- Les couverts végétaux, vecteurs de biodiversité

Une méta-analyse prenant en compte des vignes de quatre continents et 74 études sur le sujet, a montré que d'une manière générale la gestion extensive des vignobles favorise la biodiversité et les services écosystémiques. Il y a ici globalement peu d'effet du couvert sur le rendement et sur la qualité du raisin. Cependant, dans des régions sèches non irriguées, l'étude conclut que les couverts en inter-rang pourraient diminuer le rendement ou la qualité des baies. L'intérêt pour ces questions dans le contexte méditerranéen est donc pertinente (Winter et al. 2018).

De plus, il a été montré qu'une couverture végétale favorise la biodiversité et contribue aux services écosystémiques évoqués précédemment, notamment concernant les régulations naturelles. En effet, dans certains agroécosystèmes traditionnels tempérés, il a été suggéré que l'augmentation de diversité végétale pourrait accroître la diversité des insectes. Cela permettrait également de réduire les pertes dues aux phytophages des cultures en diminuant la visibilité de la culture principale, ce qui rendrait plus difficile sa localisation par le ravageur (Stamps et al. 1997). Les couverts végétaux en inter-rangs pourraient également permettre de favoriser les communautés d'ennemis naturels, ce qui améliorerait les régulations de ravageurs. Les hypothèses expliquant ces régulations sont explicitées ci-après.

- Potentielle induction d'une diminution d'abondance de ravageurs au sein de vignobles (études de cas)

La diversification végétale au sein des vignobles est un premier levier qui permettrait de favoriser la diversité d'espèces et l'abondance d'ennemis naturels. En effet, les vignes étant des cultures pérennes, elles pourraient participer à la fourniture de nombreux services écosystémiques, notamment la régulation biologique, en alliant des habitats attrayants et stables dans les temps, et des inter-rangs diversifiés (Winter et al. 2018).

Une étude sur le vignoble de Mendocino en Californie a mis en évidence l'importance de maintenir une couverture végétale et florale pendant toute la période de végétation de la vigne, afin de fournir habitats et ressources alimentaires alternatives, et ainsi conserver une communauté diversifiée d'ennemis naturels (Altieri, et al. 2005). Les prédateurs ne dépendent plus uniquement d'une espèce de proie, mais aussi de ressources alimentaires alternatives et sont donc présents plus tôt, ce qui les rend plus efficaces. Une approche pour y parvenir consiste à semer un couvert estival fleurissant tôt et tout au long de la saison. L'étude note par exemple qu'en présence de sarrasin et de tournesol dans les inter-rangs, les abondances de certains ravageurs tels que la cicadelle de la vigne (nymphe et adultes) et les thrips sont moins élevées et, en parallèle, les abondances de leurs ennemis naturels sont plus importantes que dans les vignes en monoculture. Les prédateurs dominants comprenaient les araignées, *Nabis* sp., *Orius* sp., *Geocoris* sp, Coccinellidae, et *Chrysoperla* sp. (Altieri et al. 2005). D'autre part, une population importante d'un parasitoïde de la cicadelle (*Anagrus epos*) a été observée, sans toutefois retrouver les dégâts attendus sur les œufs de ses proies. Ce phénomène est expliqué par l'abondance des ressources secondaires, suffisantes à *A. epos* qui n'avait plus besoin de parasiter le ravageur. Cet exemple illustre les limites de l'apport de ressources alternatives pour l'efficacité des ennemis naturels dans la régulation des ravageurs (Altieri, et al. 2005). Il existe cependant, peu de cas étudiés dans la littérature, notamment pour des zones géographiques tempérées (Paiola et al. 2020).

La diversification des inter-rangs via des couverts végétaux semés ou de la végétation indigène permettrait la multiplication de ressources alternatives (refuges, ressources alimentaires), et une meilleure répartition de ces ressources dans le temps (Paiola et al. 2020). Une gamme plus importante d'ennemis naturels serait alors attirée, et ce, sur une période plus longue. Le manque de continuité temporelle des ressources dans les systèmes en monoculture réduit les populations d'ennemis naturels. En effet, les ressources alimentaires (proies, mais aussi pollen et nectar) ainsi que les refuges, ne sont disponibles que périodiquement dans les monocultures (Altieri et al. 2007). En ce sens, la diversité et l'abondance végétale peuvent avoir un effet indirect sur la lutte biologique en augmentant

l'abondance et la durée de présence d'ennemis naturels, rendant les réseaux trophiques plus résilients (Altieri et al. 2005 ; Zhao et al. 2019 ; Paiola et al. 2020). Le groupe des araignées est un exemple d'ennemis naturels favorisés par les habitats et les proies fournies via les infrastructures agroécologiques complexes. Ce groupe de prédateurs généralistes a un rôle important dans le contrôle de ravageurs au sein des vignobles (Rosas-Ramos et al. 2018).

- Avantages d'associer couverts diversifiés et agroforesterie

Comme expliqué précédemment, les couverts des inter-rangs peuvent avoir un impact sur la biodiversité et plus particulièrement sur les régulations naturelles. Ces systèmes diversifiés peuvent être associés à d'autres systèmes tels que l'agroforesterie. Ce système de culture alternatif à la monoculture pourrait participer à la protection des cultures en augmentant la diversification de la parcelle, favorisant les régulations naturelles via de nouvelles ressources. L'agroforesterie serait particulièrement efficace en association avec des corridors naturels qui peuvent être assurés par la présence d'inter-rangs diversifiés. La combinaison de ces systèmes est donc pertinente à étudier (Guenser et al. 2018).

4. L'agroforesterie, un autre degré de diversification

→ Définition de l'agroforesterie et impact sur les services écosystémiques

L'agroforesterie est un système de gestion agricole qui peut être qualifié d'intensif puisqu'il combine la présence d'arbres (sylviculture ou arboriculture) et d'autres cultures ou bétail, dans le temps et l'espace, au niveau du paysage (Nair 1993 ; Sanchez 1995 ; Altieri et al. 2007). Ce système de culture permet d'ajouter une production (sylvicole ou arboricole) à la production de la parcelle (Torralba et al. 2016). L'objectif est de tirer le meilleur parti des interactions biologiques entre les sols, les plantes et les arthropodes (Nair 1993 ; Sanchez 1995; Altieri et al. 2007). Les systèmes agroforestiers visent à équilibrer les demandes des écosystèmes pour maintenir la biodiversité et la productivité, tout en répondant aux besoins de l'agriculture avec un rendement durable (Nair 1993; Sanchez 1995; Altieri et al. 2007 ; Torralba et al. 2016). L'association de différents types de cultures pourrait donc être une réponse séduisante à la perte de biodiversité dans les agroécosystèmes, mais la possibilité de compétitions pour l'eau, les nutriments et la lumière entre les arbres et la culture doit être pris en compte (Guenser et al. 2018).

→ L'agroforesterie, un système agricole prometteur

L'agroforesterie n'est pas un concept nouveau. Ces systèmes de culture étaient déjà utilisés de manière traditionnelle en Afrique, en Amérique du Sud et en Amérique centrale (Pumariño et al. 2015). Au Portugal, dans la région du Vinho verde, on trouvait traditionnellement des vignes grimpant sur les arbres (chêne portugais, orme, peuplier) bordant des parcelles cultivées. Ces systèmes offraient des barrières physiques formant des microclimats, protégeant les cultures contre le gel, le vent mais aussi contre la dispersion de semences d'adventices, de ravageurs ou de microorganismes (Altieri et al. 2002). La pression des politiques économiques a poussé les viticulteurs de cette région à abandonner l'agroforesterie au profit de la monoculture, dans un but de hausse des rendements passant par une mécanisation des cultures. Les systèmes de production se sont donc intensifiés, entraînant une modification du microclimat et des conditions plus favorables à la prolifération de bioagresseurs (Altieri et al. 2002).

Comme vu précédemment, il existe plusieurs manières de concevoir la plantation d'un système agroforestier. Aujourd'hui, dans les régions tempérées, la majorité des systèmes agroforestiers sont plantés en couloirs, permettant la mécanisation des cultures. La conception du système est un élément clé pour déterminer sa productivité. L'objectif est de maximiser les interactions positives tout en minimisant les interactions négatives. Pour qu'il soit le plus efficace possible, les différents

compartiments du système doivent être complémentaires dans l'utilisation du rayonnement solaire, de l'eau, et des nutriments (Torralba et al. 2016).

→ Avantages et désavantages de l'agroforesterie

Les bénéfices de l'agroforesterie sont multiples. Ces systèmes ont tendance à préserver les sols, voir à améliorer leur fertilité et leur structure. Ils participent à leur enrichissement en matière organique, à la fixation d'azote et à une réduction de l'érosion, particulièrement marquée dans des vignobles et oliveraies en contexte méditerranéen, sujets à la sécheresse (Varah 2013; Pumariño et al. 2015 ; Torralba et al. 2016). L'agroforesterie favorise également la biodiversité. Plusieurs études constatent une augmentation de la pollinisation, du nombre d'abris fournis et un microclimat plus stable, ce qui favorise la biodiversité (Varah 2013; Pumariño et al. 2015 ; Torralba et al. 2016). Cependant, comme tous les systèmes de polyculture, les ressources font l'objet de compétition entre les espèces, notamment la lumière, l'eau et les nutriments. Ces compétitions sont très dépendantes du contexte pédoclimatique et des espèces utilisées (Varah 2013; Torralba et al. 2016).

→ Zoom sur les régulations naturelles : impact sur la richesse spécifique et l'abondance des arthropodes via la complexification des habitats et la diversification des ressources alimentaires

Une méta-analyse de 2015 s'est intéressée à différents systèmes agroforestiers à travers le monde. L'étude a fait le constat que d'une manière globale, l'agroforesterie a tendance à augmenter l'abondance des ennemis naturels et à réduire l'abondance des ravageurs au sein des cultures pérennes, entraînant une baisse des dégâts sur les cultures du système (Pumariño et al. 2015). Dans une étude de 2002 sur la vigne, un nombre total d'insectes et une richesse spécifique plus importante ont été observés dans plusieurs systèmes agroforestiers traditionnels. Les abondances de certains ravageurs (nymphes de cicadelles et larves d'une tordeuse de la vigne (*Lobesia botrana*)) étaient plus faibles en agroforesterie et leurs dégâts associés étaient également moins importants (Altieri et al. 2002). Le même résultat a été montré dans les vignobles portugais où le nombre d'espèces d'insectes et notamment de prédateurs, ainsi que le nombre total d'individus collectés étaient plus importants dans les systèmes agroforestiers que dans les monocultures (Altieri et al. 2002).

Selon plusieurs études, le constat de réduction d'épidémies au sein des systèmes agroforestiers serait imputable à leur diversité végétale particulièrement importante (Altieri et al. 2007). Différents phénomènes liés à cette diversité sont en jeu. Un premier phénomène est la multiplication des ressources alimentaires et des abris qui rendent les populations d'insectes plus stables. Stamps et Linit affirment que la complexité végétale permet d'accroître la diversité et l'abondance des ennemis naturels en raison d'une disponibilité d'abris importante, grâce à la complexité du milieu. Cela permet de maintenir des populations d'ennemis naturels aux moments critiques (Stamps et al. 1997 ; Altieri et al. 2007; Pumariño et al. 2015).

Plusieurs études notent une diminution de la pression de ravageurs corrélée à l'augmentation de la richesse en espèces fleuries. Cet effet est principalement dû à une abondance et une efficacité accrue des prédateurs et des parasitoïdes. Une couverture végétale importante pourrait également empêcher le vol de certains coléoptères et/ou limiter leur déplacement au sol (Altieri et al. 2007).

Les systèmes agroforestiers permettent aussi une meilleure disponibilité des ressources dans le temps via une biodiversité accrue et une présence d'espèces végétales échelonnées, à différents stades phénologiques. Les arbres peuvent, quant à eux, fournir un refuge et un apport nutritionnel plus constant aux ennemis naturels (Rao et al. 2000). En effet, les proies et les hôtes alternatifs sont disponibles sur de plus longues périodes, tout comme le pollen, le nectar ou encore les refuges, ce qui favorise les ennemis naturels et augmente leur temps de présence, les rendant plus efficaces car plus précoces dans la saison (Altieri et al. 2007). La stabilité temporelle de la culture et la complexité structurelle de ces dispositifs permettent donc de favoriser les régulations naturelles (Altieri et al. 2007).

→ Autres facteurs influençant les régulations naturelles

- Changement d'ombrage et de microclimat

Un autre facteur impliqué dans l'effet de ces systèmes sur les insectes est le changement d'ombrage et d'humidité via la diversité des couverts qui peuvent impacter certains insectes, notamment ceux qui colonisent les environnements en fonction des couleurs de fond ou qui sont adaptés à des plages microclimatiques précises. Des études sur d'autres systèmes agroforestiers (cacao, café, thé) montrent que l'absence d'ombrage favorise la pression de certains ravageurs (Altieri et al. 2007).

- Signaux olfactifs

La diversité végétale générée dans les systèmes agroforestiers peut créer des interférences dans les indices chimiques utilisés par les phytophages pour localiser les plantes hôtes. Plusieurs études ont démontré que la dissuasion olfactive est un facteur de diminution de l'abondance des arthropodes (Altieri et al. 2007). La perturbation olfactive pourrait être un facteur explicatif de la fluctuation d'abondance d'insectes. Cependant, cette étude ne sera pas en mesure de prouver que les variabilités d'abondance de populations sont expliquées par ce phénomène.

- Qualité du sol

Certaines études suggèrent que l'enrichissement du sol en matière organique et qu'une meilleure nutrition des cultures en systèmes agroforestiers pourraient augmenter l'abondance de phytophages (Pumariño et al. 2015).

→ L'association de couverts en inter-rangs et de l'agroforesterie

La présence d'arbres ne suffit pas à expliquer une bonne répartition des arthropodes dans le vignoble. La combinaison de couverts en inter-rangs et d'agroforesterie permettrait une conservation plus stable de la biodiversité des arthropodes, par rapport aux arbres seuls qui montrent des effets ponctuels (Guenser et al. 2018). Une stratégie consistant à utiliser une zone moins productive de la parcelle afin d'attirer et de concentrer des auxiliaires et des ennemis naturels a été testée dans un vignoble de Somona (Californie) (Altieri et al. 2005). Un îlot de 0,25 ha d'arbustes et d'herbes à fleurs a été créé dans ce but, au centre du vignoble. En s'approchant de l'îlot, les auteurs ont constaté un gradient décroissant d'abondance de thrips, en corrélation avec un gradient croissant d'abondance d'ennemis naturels. Les corridors écologiques formés par les couverts des inter-rangs ont donc permis une dispersion accrue des prédateurs dans la parcelle. La disponibilité de pollen et de nectar du corridor ainsi que la diversité et l'abondance d'insectes neutres (phytophages non-préjudiciables) ont attiré un grand nombre de prédateurs généralistes. Les *Orius spp.* et les *Coccinellides* sont les colonisateurs prédominants au début de la saison, mais plus tard, les mouches, syrphes et les guêpes *Anagrus* s'éloignent de l'île et ont une répartition de plus en plus homogène dans le vignoble. L'article met en avant l'utilisation simultanée de plusieurs leviers agroécologiques complémentaires, comme la mise en place de corridors de biodiversité afin d'assurer la continuité avec « l'île d'arbustes » (Altieri et al. 2005).

→ Des résultats fortement dépendant du contexte, qui justifient une expérimentation dans le vignoble méditerranéen

Les conclusions citées précédemment sur l'impact de l'agroforesterie sur les régulations naturelles dépendent fortement du contexte. En effet, Guenser et al. ont observés des effets de l'agroforesterie sur la répartition des ravageurs et sur les abondances d'arthropodes dans les parcelles, mais ces effets étaient inconstants selon le site et l'année d'expérimentation (Guenser et al. 2018). Les résultats dépendent également du ravageur, des espèces d'arbre choisies et du type de culture (vivace, annuelle, pérenne) (Pumariño et al. 2015). Dans certains cas, on note que les systèmes agroforestiers peuvent même favoriser les ravageurs, en leur fournissant des ressources complémentaires, en leur rendant le microclimat favorable, ou indirectement en améliorant des plantes hôtes secondaires (Pumariño et al. 2015).

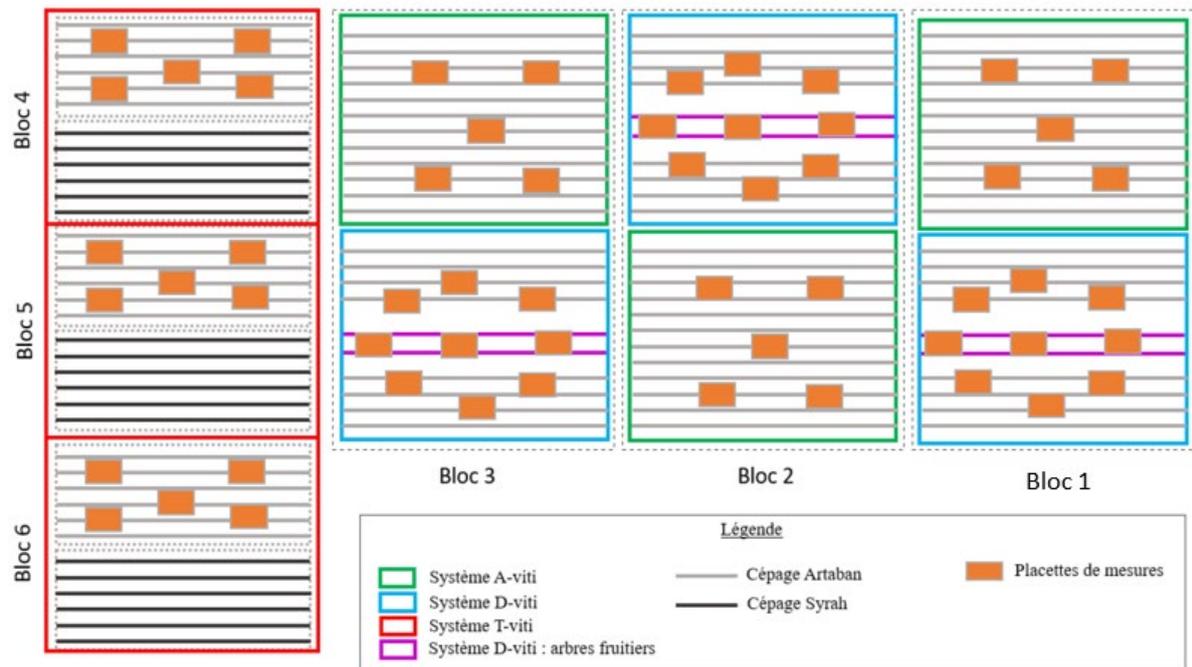


Figure 3 : Schéma de la parcelle expérimentale du Chapitre représentant les trois systèmes et les placettes, source rapport de stade de fin d'études, (Tabary 2021)

Enfin, peu d'études se sont intéressées à l'agroforesterie en milieu tempéré. En effet, plus de 80% des études sur l'agroforesterie ont été faites sur maïs ou cacao jusqu'à 2015. On a donc peu de recul sur les systèmes agroforestiers tempérés, associés à des vignes, qui mettent en jeu d'autres ravageurs, d'autres climats, d'autres cultures et une biodiversité associée particulière à ce contexte (Pumariño et al. 2015).

Ainsi, il a été montré qu'à travers plusieurs aspects la diversité végétale pourrait avoir un effet sur les abondances des ravageurs de la vigne, notamment via des régulations naturelles. L'objet de cette étude est donc l'impact de trois systèmes viticoles ayant des niveaux de diversification végétale différents sur les populations de ravageurs.

5. Hypothèses de l'étude

Hypothèse générale : La diversification et l'abondance végétale augmente l'abondance et la richesse spécifique des ennemis naturels ce qui améliore les régulations naturelles.

Sous hypothèses détaillées :

H1. La diversité et l'abondance végétale du système agroforestier (Dviti) sont supérieures à celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).

H2. Le système agroforestier (Dviti) présente une diversité et une abondance d'arthropodes plus élevées que celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).

II/ MATERIEL ET METHODE

1. Présentation de la parcelle d'expérimentation et des 3 systèmes

La parcelle expérimentale de 3ha se situe en climat méditerranéen, à proximité de l'étang de l'Arnel et de Montpellier, au Domaine du Chapitre, sur la commune de Villeneuve-lès-Maguelone, (43°31'50.46"N 3°52'05.95"E). La texture du sol est limono-argilo-calcaire et le sol a une profondeur hétérogène allant jusqu'à 2.50m. La vigne est conduite en cordon de Royat et a été palissée. La parcelle se compose de trois systèmes : le témoin (T-viti) conduit en conventionnel, et deux systèmes agroécologiques All-viti (A-viti) qui a des inter-rangs diversifiés et Divers-viti (D-viti) qui intègre de l'agroforesterie à la vigne, en complément des inter-rangs diversifiés. Les deux derniers systèmes, dit agroécologiques, ne sont pas certifiés en Agriculture Biologique. Il est possible de recourir à des stimulateurs de défenses, et à des traitements cuivre et soufre en cas de besoin. Cependant, aucun traitement chimique n'a été utilisé jusqu'à présent. Un schéma de la disposition des systèmes est disponible en figure 3.

- T-viti : ce système est conduit avec un itinéraire cultural conventionnel, en maîtrisant au maximum la végétation avec un travail du sol régulier en inter-rang, couplé à un désherbage chimique du rang. Ce système est composé de deux cépages : Artaban, qui est un cépage résistant à l'oïdum et au mildiou et Syrah qui est un cépage couramment cultivé dans la région. Le système est divisé en 6 blocs (3 blocs Artaban et 3 blocs Syrah) chacun composé de 6 rangs de 55 ceps, équivalent à une densité de 3333 ceps /ha. Les inter-rangs mesurent 2.50m de largeur et les ceps sont séparés de 1,2m sur le rang. Ce système est isolé des deux autres pour isoler les effets de la conduite agroécologique des traitements en conventionnel.
- A-viti : ce système a la particularité d'avoir des inter-rangs composés d'espèces semées (*Pisum sativum*, *Vicia faba*, *Onobrychis*, *Medicago sativa*, *Sinapis alba*, *Sorghum halepense*), et spontanées. Cette végétation est maîtrisée par de la tonte ou du roulage (Rolo Faca) en fonction de la croissance du couvert, et cette année à deux occasions au printemps (mai, juin). Le rang est paillé avec des plaques de fibres de riz et de coco. Le système comprend trois

répétitions appelées « blocs » chacun d'entre eux composé de 12 rangs de 60 cepes du cépage Artaban. L'inter-rang mesure 2.80m et les cepes sont plantés tous les 1m à une densité de 3570 cepes/ha (figure 3)

- D-viti : ce système est composé de vignes comme A-viti où les quatre rangs centraux ont été remplacés par deux rangs de grenadiers et de figuiers. Les inter-rangs des vignes sont conduits comme les inter-rangs du système A-viti. Les arbres ont été plantés en deux rangées séparées de 2,80m, à une densité de 890 arbres/ha, le tout à 5,80m des vignes pour éviter une concurrence hydrique trop forte et un ombrage des arbres. On compte quatre grenadiers (variétés : Wonderful et Provence) pour un figuier (variétés : Alma, Blanche, Pastillère). Ces arbres ont été choisis pour la production fruitière, transformable avec des équipements déjà présents au domaine ou valorisable en vente directe. Ils permettent une diversification des cultures, en appartenant à des familles botaniques différentes de la vigne, limitant ainsi l'attraction de ravageurs de la vigne et permettant de ne pas les traiter. Le système D-viti a été composé de trois sous-systèmes, la vigne nord, les arbres et la vigne sud. Les vignes nord et sud seront considérées comme un même système. Ainsi 4 systèmes ont été considérés : T-viti, A-viti, D-viti, et D-viti arbre.

Les systèmes D-viti et A-viti sont séparés par une haie d'oliviers et une bande fleurie dont l'impact n'est pas pris en compte dans l'étude. Ces systèmes sont tous deux irrigués au goutte à goutte pour les arbres et en micro-asperion pour la vigne, en fonction des conditions météorologiques. Les arbres et la vigne ont été plantés en 2019.

2. Echantillonnage : quand et comment ont été récoltées les données

→ L'unité d'échantillonnage : la placette

Les unités d'échantillonnage appelées « placettes » ont été constituées de 10 cepes et de leur inter-rang et sont réparties sur l'ensemble de chaque bloc. On en compte cinq pour chaque bloc du système A-viti et T-viti et neuf pour chaque bloc du système D-viti. Les neuf placettes ont été réparties en trois placettes par sous-système (vigne nord, arbres et vigne sud) (figure 3).

→ Période d'échantillonnage

Les relevés de données ont été faits à trois reprises durant l'étude, fin avril, fin mai, et fin juin. Le but était de synchroniser les relevés avec des stades phénologiques de la vigne : boutons floraux agglomérés, floraison et fermeture. Les deux premières années de l'étude, les dates de relevés étaient fin juin, fin juillet et fin août mais les deux derniers mois étant trop secs, on notait un manque de données aussi bien pour la faune que la flore. Pour des raisons techniques, les données d'échantillonnage de la faune de juin n'ont pas été récupérées à temps pour être traitées. Elles n'ont donc pas été considérées dans l'étude.

→ Echantillonnage de la faune

Nous avons choisi trois types de pièges pour échantillonner la faune de la parcelle, chaque piège étant sélectif de différents groupes. Les espèces identifiées sont disponibles en annexe I.

Pot barber

Le pot barber est la méthode d'échantillonnage la plus répandue pour capturer la faune rampante tels que certains coléoptères (*Carabidae* et *Staphylinidae*), des fourmis (*Hymenoptera :Formicidae*), mais aussi des opilions et des araignées (*Araneae*) (Lange et al. 2011 ; Montgomery et al. 2021). Il s'agit de cônes mesurant six centimètres de diamètre et 14 cm de profondeur, disposés à raison d'un par placette. Les pièges ont été suffisamment espacés pour éviter d'interférer entre eux (périmètre estimé à 10 mètres), et ils ont été enterrés de manière à ce que l'ouverture se situe à la surface du sol afin que la faune tombe aveuglément dedans (Montgomery et al. 2021). Ils ont été remplis avec un mélange eau, sel (utilisé comme conservateur) et liquide vaisselle sans parfum (utilisé comme

tensioactif). Les pièges ont été laissés cinq jours, puis leur contenu a été filtré dans un tamis et conservé dans un pilulier rempli d'alcool à 70°.

Couppelles

Les coupelles permettent de capturer la faune volante. Les pièges étaient constitués de deux étages, l'un situé à un mètre du sol au niveau du feuillage de la vigne visait à capturer la faune volante attirée par la vigne, et l'autre au ras du sol visait à capturer la faune volante attirée par les couverts. Chaque étage comporte trois coupelles, une jaune, une bleue et une blanche, que la faune confond avec des ressources alimentaires notamment des fleurs. Chaque couleur attire des groupes différents, mais le jaune collecte la plus grande diversité d'espèces des trois couleurs. L'association des trois couleurs offre donc une complémentarité des espèces capturées, cette association est largement répandue dans la communauté scientifique (Moreira et al. 2016). Les coupelles sont remplies du même mélange eau, sel, savon. Deux pièges ont été placés par répétition dans chaque système et chaque sous-système (A-viti, D-viti-nord, D-viti-sud, D-viti-arbre) (figure 3). Ils ont été laissés 48h, puis leur contenu a été récolté de la même manière que les pots barber. Les coupelles du bas et du haut d'une même couleur ont été additionnées pour être comparables à l'échantillonnage des années précédentes. On retrouve donc certains insectes rampants dans les pièges coupelles.

Battage

Les battages permettent d'échantillonner la faune présente sur la vigne. Ainsi, un nouveau compartiment de la biodiversité de la parcelle a été exploré, incluant notamment les ravageurs de la vigne et leurs prédateurs. Pour ce faire, un parapluie japonais a été positionné sous la vigne entre deux ceps, puis le fil releveur était secoué pendant 10 secondes. Les arthropodes ainsi recueillis ont ensuite été capturés via un aspirateur à bouche, puis conservés dans un pilulier contenant de l'alcool à 70°.

Les échantillons ont été envoyés à un prestataire (Arachnée) pour une identification taxonomique de l'ensemble de la faune échantillonnée au degré le plus précis possible.

➔ Echantillonnage de la flore

En 2021 et en 2022, la flore a été caractérisée via deux méthodes, la méthode des quadrats et la méthode du parcours. Les deux méthodes sont complémentaires étant donné que les quadrats estiment l'abondance de chaque espèce par leur taux de recouvrement et que le parcours complète l'identification d'espèces qui n'auraient pas été observées dans le quadrat, complétant l'information sur la richesse spécifique. On note que le taux de recouvrement des quadrats est estimé par l'opérateur, il est donc important que toute la parcelle soit échantillonnée par une seule personne pour minimiser ce biais. La flore eFLORAsys a été utilisée (Plantureux et al. 2010). Les espèces identifiées sont disponibles en annexe II à V.

Quadrats

L'échantillonnage est constitué d'une mesure par placette, via un quadrat de 0,25m² au sein duquel on identifie toutes les espèces et on estime leur taux de recouvrement respectif. Le statut de floraison a également été relevé pour chaque espèce ainsi que le taux de recouvrement des inflorescences. La méthode des quadrats se concentre sur l'inter-rang, étant donné que le rang de A-viti est paillé.

Parcours

Les parcours consistent en une notation la plus exhaustive possible de toutes les espèces présentes sur le rang et l'inter-rang. Les parcours ont été réalisés sur deux inter-rangs à proximité des placettes, par système (T-viti, A-viti, D-viti et D-viti-arbre) et par répétition. Étant donné que l'estimation du taux de recouvrement (par m²) n'est pas applicable sur le parcours, on utilise l'échelle de Barralis pour avoir une information sur l'abondance des espèces identifiées uniquement dans le parcours.

Traits floristiques

Plusieurs traits floristiques ont été relevés. Le nombre de fleurs, leur taux de recouvrement et la hauteur de chaque espèce ont été relevés pour cinq individus de chaque bloc. On dispose également

d'une base de données (TABARY, 2021) qui contenait le diamètre et la taille des fleurs ainsi que le mode de pollinisation.

3. Description des variables

➤ Floristiques

Les variables floristiques se décomposent en variables taxonomiques et fonctionnelles. Les variables taxonomiques comprennent la richesse spécifique, l'abondance totale, l'abondance spécifique, l'indice de Shannon. La richesse spécifique est calculée avec la moyenne du nombre d'espèces sur les 3 blocs d'un système, c'est donc en réalité la richesse spécifique moyenne par système qui sera considérée. Les variables fonctionnelles se décomposent en traits floraux, c'est-à-dire le nombre moyen de fleurs par espèce, la surface de recouvrement florale par espèce, la hauteur maximale moyenne par espèce. Ces variables ont été estimées à partir de mesures sur 5 individus d'une espèce, répétées dans chaque bloc et chaque système.

➤ Faunistiques

Les variables décrivant la faune ont également été divisées en variables taxonomiques et fonctionnelles. Les variables taxonomiques comprenaient la richesse spécifique moyenne par système (qui est appelée abusivement « richesse spécifique »), l'abondance totale, l'abondance spécifique et les indices de biodiversité (Shannon). Les variables fonctionnelles se réfèrent aux groupes suivants : les phytophages, les phytophages de la vigne, les prédateurs, les parasitoïdes (d'un ravageur de la vigne, d'une autre espèce). Pour chaque variable fonctionnelle, l'abondance et la richesse spécifique moyenne par système, ont été mesurées.

4. Analyses statistiques

Le logiciel Rstudio (5.5.4) a été utilisé pour les analyses statistiques. Dans un premier temps, l'effet bloc a été testé sur les variables du couvert. Une Anova (type II) a été utilisée pour comparer les blocs, lorsque les conditions d'application (indépendance des échantillons, normalité, homoscedasticité) le permettaient. L'indépendance des échantillons dépend du plan d'expérimentation, et a toujours été considérée comme validée. La normalité a été testée avec un test de Shapiro-Wilk et l'homoscedasticité avec un test de Levene. Les comparaisons multiples ont été testées avec le test post-hoc de Tukey (fonction `glht()` du package `{multcomp}`). Lorsque l'une des conditions n'était pas respectée, les comparaisons de moyennes des blocs par système ont été faites avec un test non paramétrique, ici le test de Kruskal-Wallis, suivi de la fonction `pairwise.wilcox.test()`, qui se base sur le test de Wilcoxon-Mann-Whitney pour faire des comparaisons de moyenne deux à deux. La méthode a été ajustée avec « holm ». Les effets blocs n'étant pas significatifs, la même méthode a été utilisée pour les comparaisons des différentes variables du couvert (indice de Shannon, taux de recouvrement, richesse spécifique moyenne) entre les systèmes.

Les effets blocs ont également été testés pour les variables de la faune, mais cette fois ils se sont avérés significatifs. L'analyse des variables de la faune a donc été effectuée avec un modèle linéaire généralisé mixte, en mettant le facteur bloc en aléatoire. La fonction `glmer()` du package `{lme4}` a été utilisée lorsqu'il n'y avait pas de surdispersion, avec la famille « poisson » car les données de richesse spécifique et d'abondance correspondent à un comptage, et après visualisation de la répartition des données. En cas de surdispersion, la fonction `glmer.nb` a été utilisée. Les moyennes des moindres carrés ont ensuite été calculées sur le modèle obtenu avec la fonction `lsmeans()` du package `{emmeans}` avec une méthode ajustée de tuckey. Puis la fonction `cld()` du package `{multcomp}` a permis de faire les comparaisons multiples. Les mêmes modèles ont été effectués pour créer la heat map, ils ont simplement été assemblés. Le `corrplot` a été construit avec la méthode de Spearman et les fonctions `corrplot` et `ggcorrplot` qui proviennent des packages du même nom.

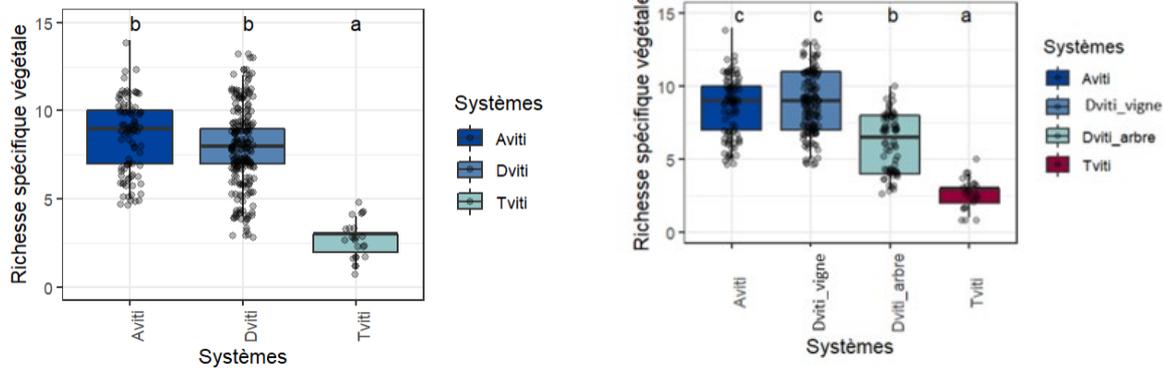


Figure 4 : Richesse spécifique totale des espèces végétales par système. Les systèmes Dviti_vigne et Dviti_arbre du graphique de droite correspondent à la décomposition du système Dviti du graphique de gauche. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

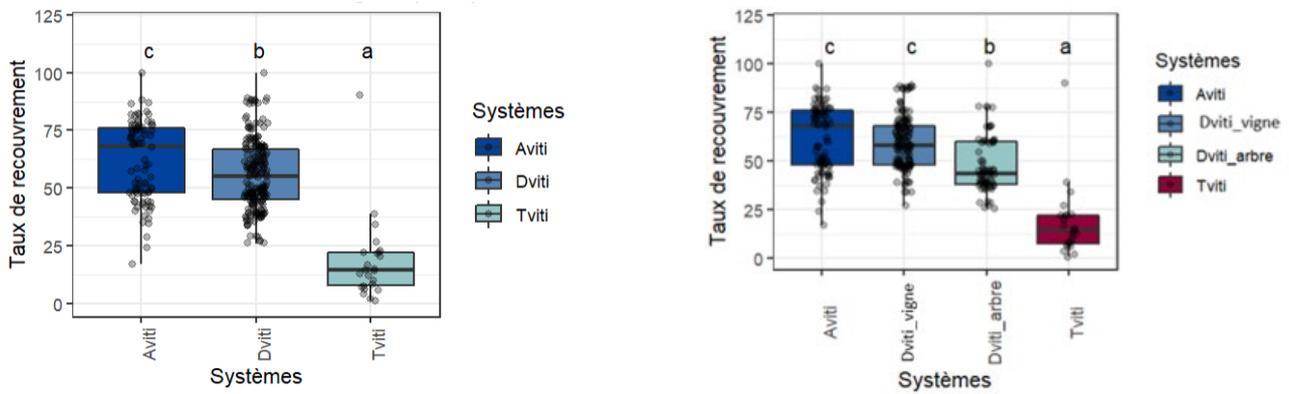


Figure 5 : Abondance des couverts par système. Les systèmes Dviti_vigne et Dviti_arbre du graphique de droite correspondent à la décomposition du système Dviti du graphique de gauche. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

III/RESULTATS

→ Systèmes et compartiments analysés

Les résultats ont été analysés, en considérant les systèmes Tviti, Aviti et Dviti. Afin de mieux comprendre l'effets des différents compartiments sur les variables de la faune, les résultats du système agroforestier Dviti ont été analysés selon deux compartiments : le compartiment Dviti_vigne et Dviti_arbre.

1. Analyses des couverts

→ Effet bloc

Une Anova type II a été réalisée pour tester les effets bloc au sein de chaque système et à chaque date, afin de vérifier que les répétitions des systèmes étaient comparables entre elles et n'étaient pas influencées par d'autres facteurs liés à l'emplacement du bloc (nature du sol, profondeur, effet brodure...). Ici, aucun effet bloc n'a été détecté pour les variables du couvert (indice de Shannon, richesse spécifique moyenne, taux de couverture) concernant les mois d'Avril et de Mai. On peut donc analyser les systèmes en additionnant les échantillons de chaque bloc, sans considérer cette variable en aléatoire. Cependant, on a un effet bloc pour le mois de juin, qui sera donc considéré.

H1. La diversité et l'abondance végétale du système agroforestier (Dviti) sont supérieures à celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).

→ Effet système

Richesse spécifique moyenne par système des couverts

La richesse spécifique moyenne du couvert, c'est-à-dire le nombre d'espèces végétales moyenne par système, est significativement différent entre les systèmes. La richesse spécifique moyenne des systèmes Aviti et Dviti (9 espèces en moyenne) est significativement supérieure à celle de Tviti (3 espèces en moyenne) (figure 4). En considérant séparément les deux compartiments du système Dviti, la richesse spécifique moyenne du système Dviti_arbre (6 espèces en moyenne) est significativement inférieure à celle de Dviti_vigne et de Aviti et est significativement supérieure à la richesse spécifique moyenne du système Tviti. Ces résultats se répètent sur chacune des trois dates et sur l'ensemble de la saison. La richesse spécifique moyenne des couverts avait le même ordre de grandeur (une dizaine d'espèces) durant les trois dates d'études.

Abondance des couverts

L'abondance des couverts est estimée par le taux de recouvrement végétal. Les trois systèmes ont des taux de recouvrement significativement différents, Aviti présente le couvert le plus abondant (60% de recouvrement moyen) et Tviti a le couvert ayant l'abondance la moins importante (18% de recouvrement en moyenne) (figure 5). Le compartiment Dviti_arbre (48% de recouvrement moyen) a un taux de recouvrement significativement inférieur à celui de Dviti_vigne (60% de recouvrement moyen), qui est dans le même groupe que celui du système Aviti.

Les systèmes qui présentent les couverts les plus diversifiés et les plus couvrants sont donc Aviti et le compartiment Dviti_vigne, puis Dviti_arbre et enfin Tviti.

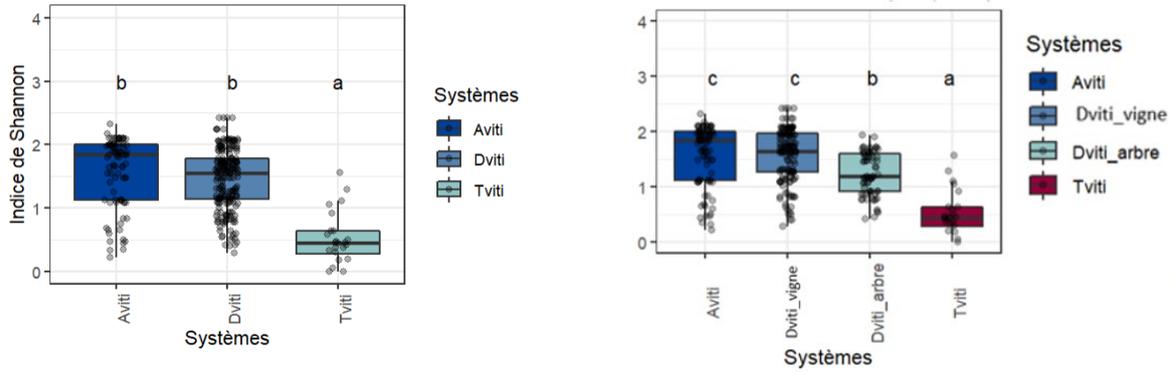


Figure 6 : Indices de Shannon par système. Les systèmes Dviti_vigne et Dviti_arbre du graphique de droite correspondent à la décomposition du système Dviti du graphique de gauche. Les lettres désignent une p-values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

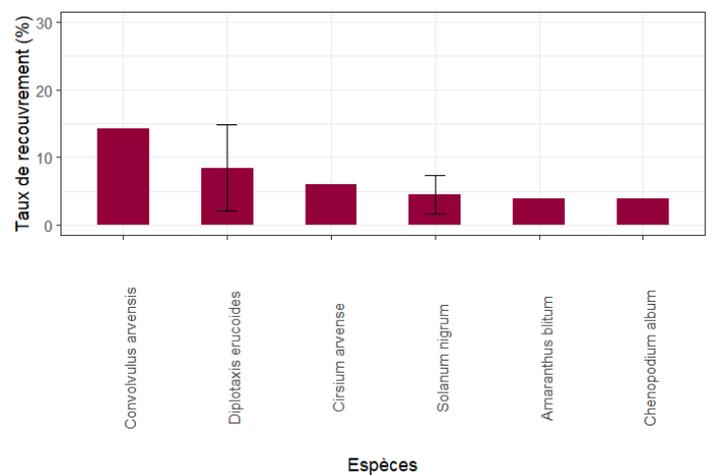
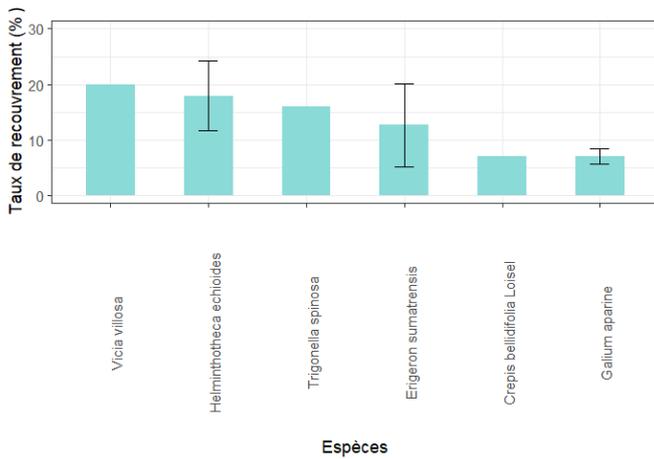
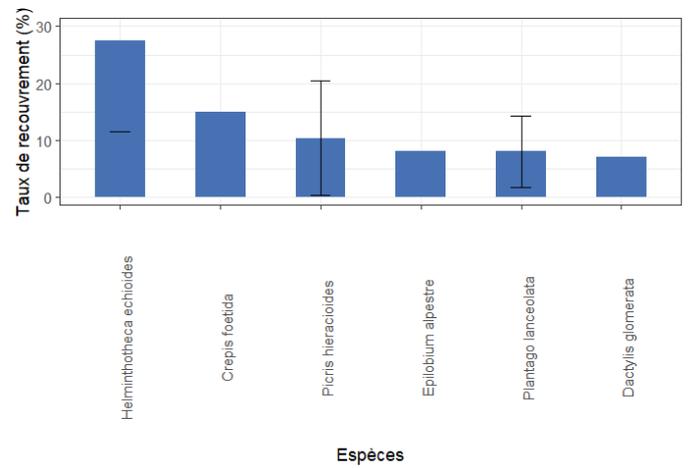
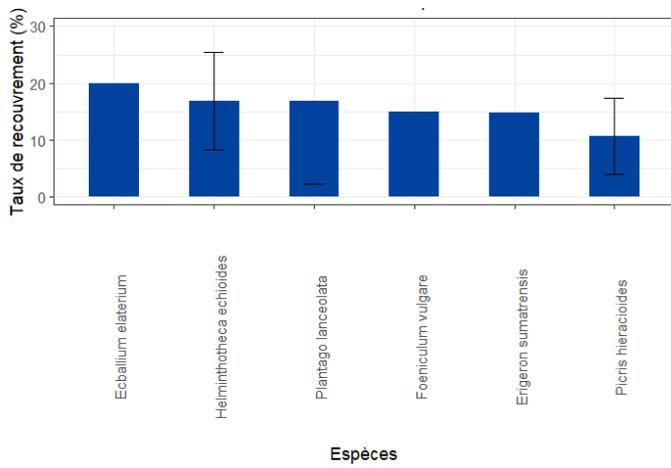


Figure 7 : Barplots des taux de recouvrement moyen des espèces majoritaires du mois de mai par système. Les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type. Certaines espèces n'ont été mesurées qu'une seule fois, mais avaient un taux de recouvrement important, ces espèces n'ont donc pas de barre d'erreurs.

Shannon (diversité des espèces)

Pour rappel, un indice de Shannon de proche de 0 traduit un couvert constitué d'une seule espèce. Plus l'indice augmente, plus le couvert est diversifié et hétérogène dans la répartition de ses espèces. A l'échelle de la saison (cumul des trois dates de relevé), l'indice de Shannon du système Tviti (0,5 en moyenne) est significativement plus bas que les deux autres systèmes (figure 6). En considérant les deux compartiments du système Dviti, l'indice de Shannon de Dviti_arbre (1,2 en moyenne) est significativement plus bas que celui de Dviti_vigne et de Aviti (indice de Shannon moyen de 1,6). Cela confirme que les couverts du système arbre sont moins diversifiés que les inter-rangs des vignes, mais aussi plus homogènes. L'indice de Shannon du système Tviti reste significativement plus bas, et ce, en raison du travail du sol en inter-rangs et de la rareté d'espèces adventices.

Diversité taxonomique

La composition des couverts varie, avec des espèces dominantes différentes d'un système à l'autre. Les compositions des couverts sont également très variables d'un mois à l'autre. Les espèces dominantes pour chaque système au mois de mai sont présentées sur la figure 7. Les moyennes ont été calculées avec la moyenne des taux mesurés dans chaque quadrats. Les espèces du système Tviti sont différentes de celle des autres systèmes. Les espèces majoritaires sont des espèces qui sont communes aux systèmes Aviti, Dviti_arbre et Dviti_vigne, ce qui ne signifie pas que les couverts soient identiques. Parmi ces espèces majoritaires communes on retrouve *Helminthoteca echioides*, *Vicia villosa*, *Erigeron sumatrensis*.

2. Analyse de la faune

→ Effets bloc

Les blocs ont des effets significatifs sur les variables de la faune. Cette variable a donc été considérée comme un facteur aléatoire et des modèles linéaires généralisés mixtes ont été utilisés.

→ Analyse globale des variables de la faune

Ici figurent toutes les variables explicatives ayant un effet significatif sur les variables réponses, qui caractérisent la faune (figure 8). Ainsi, le système, le type de piège, la date, et le bloc ont des effets significatifs sur la richesse et/ou l'abondance des groupes étudiés. La variable système permet d'avoir une première idée des groupes significativement impactés par le système (prédateurs, pollinisateurs, araignées, hyménoptères, coléoptères). Cependant, la variable « Type de piège », n'est pas pertinente pour expliquer l'effet des systèmes sur la faune. En effet, le piège étant sélectif de certains groupes (insectes volants pour les coupelles, rampants pour les barber...) il est évident qu'il a un effet significatif sur les variables de la faune, mais étant donné que les pièges sont les mêmes dans tous les systèmes, on peut l'éliminer. En enlevant cette variable, on obtient des résultats différents (figure 9).

La variable bloc et l'interaction « Bloc : Système », sont ici des variables aléatoires qui sont prises en compte dans le modèle car elles ont un impact sur celui-ci, mais dont on ne veut pas tenir compte. Le système impacte la richesse spécifique totale, la richesse spécifique de prédateurs, de pollinisateurs, d'opilions, d'araignées, ainsi que l'abondance totale, l'abondance de pollinisateurs, d'opilions, et d'hyménoptères.

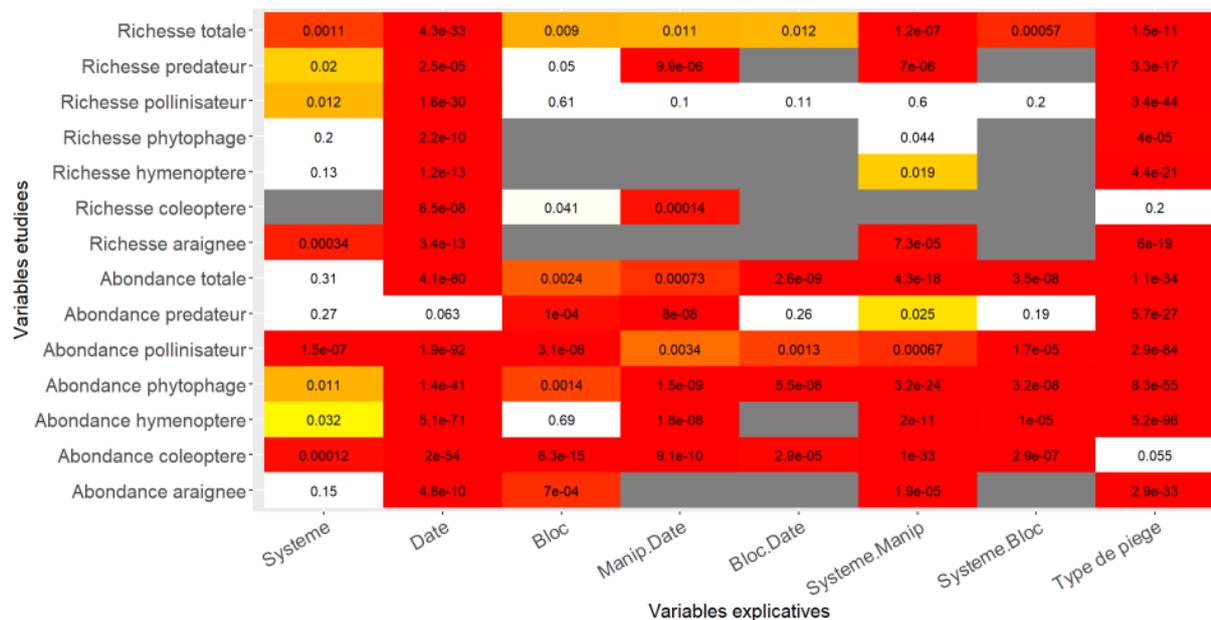


Figure 8 : Heat map des modèles linéaires généralisés mixtes, de l'impact de toutes les variables explicatives (en bas) sur la variable réponse (à gauche). Chaque ligne correspond à une modélisation. La P-values de l'effet de chaque variable est précisée dans les cases. Le seuil de significativité est fixé à 5%. Une case blanche correspond à un effet non significatif, et plus la case est rouge foncé, plus l'effet est fort. Les cases grises correspondent à des valeurs non renseignées.

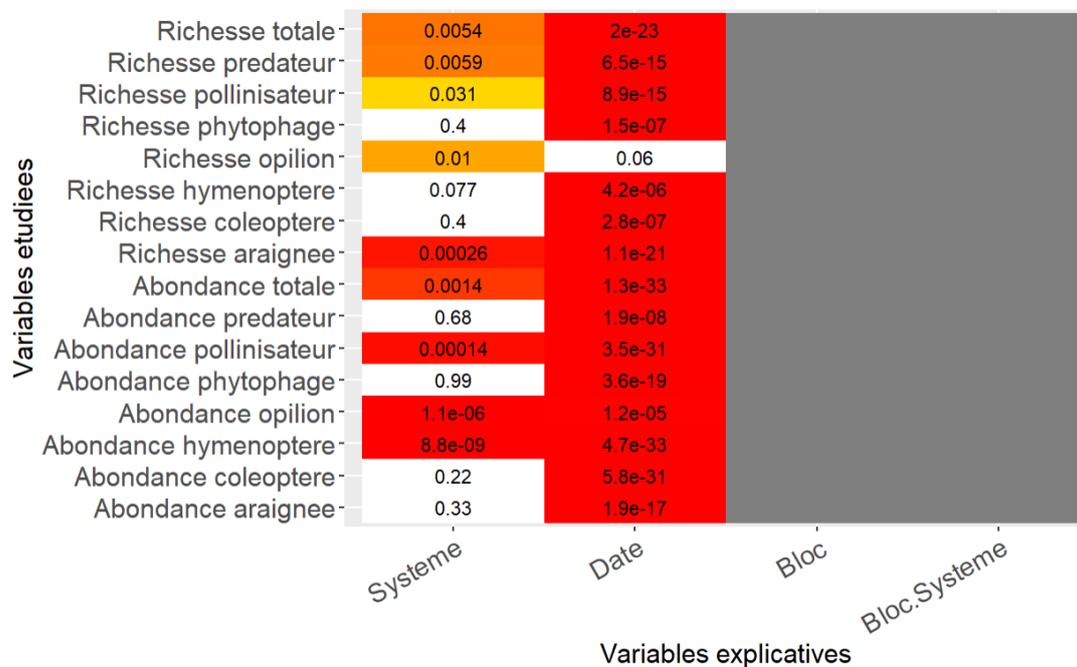


Figure 9 : Heat map des modèles linéaires généralisés mixtes, de l'impact des variables explicatives (en bas) sur la variable réponse (à gauche). Chaque ligne correspond à une modélisation. La P-values de l'effet de chaque variable est précisée dans les cases. Le seuil de significativité est fixé à 5%. Une case blanche correspond à un effet non significatif, et plus la case est rouge foncé, plus l'effet est fort. Les cases grises correspondent à des valeurs non renseignées.

H2. Le système agroforestier (Dviti) présente une diversité et une abondance d'arthropodes plus élevées que celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).

→ Richesse spécifique totale

La richesse spécifique totale de la faune observée sur la saison n'est pas significativement impactée par les systèmes (figure 10). Cependant, en décomposant le système Dviti, le compartiment Dviti_arbre présente un nombre d'espèces d'arthropodes significativement plus bas que le compartiment Aviti et Dviti_vigne et n'est pas significativement différent du système Tviti. Les valeurs de richesse spécifique des systèmes les moins diversifiés restent dans le même ordre de grandeur que celles des systèmes les plus diversifiés, (de 1 à une 21 et 23 sur les systèmes Aviti et Dviti_vigne, et de 2 à 15 et 17 pour les systèmes Dviti_arbre et Tviti).

→ Abondance totale

Le système a un impact sur les densités de population (ou abondance) totale des arthropodes (figure 11). Le système Dviti présente une densité d'arthropodes significativement plus importante que le système Tviti. La densité d'arthropodes du système Aviti est intermédiaire à celle des deux autres systèmes. En décomposant le système Dviti, on observe que le compartiment vigne a une densité d'arthropodes significativement plus élevée que le compartiment arbre. Les systèmes Aviti et Dviti_vigne présentent les densités de population d'arthropodes les plus importantes, suivis du compartiment Dviti_arbre et enfin du système Tviti. L'abondance des arthropodes semblerait donc être liée à la richesse et à l'abondance des couverts. Le système Aviti et le compartiment Dviti_vigne ont des valeurs d'abondance particulièrement dispersées, avec des valeurs allant de respectivement 2 à 325 et de 0 à 415 tandis que le système Tviti et le compartiment Dviti_arbre, avaient des valeurs moins dispersées allant respectivement de 3 à 96 et de 3 à 133.

Diversité et abondance fonctionnelle

→ Richesse spécifique et abondance de pollinisateurs

Le nombre d'espèces de pollinisateurs n'est pas significativement différent entre les systèmes (figure 12). Cependant, en considérant séparément les compartiments Dviti_vigne et Dviti_arbre, on constate que le compartiment Dviti_vigne présente un nombre d'espèces de pollinisateurs significativement plus élevé que le compartiment Dviti_arbre. Les systèmes Aviti et Tviti sont intermédiaires.

Le système n'a pas d'effet significatif sur l'abondance des pollinisateurs (figure 13). Cependant, le compartiment Dviti_arbre présente une abondance significativement plus basse que celle de Dviti_vigne et de Aviti. Le système Tviti a une abondance de pollinisateurs significativement plus basse que le compartiment Dviti_vigne.

Les pollinisateurs sont donc significativement plus diversifiés et plus abondants dans le compartiment Dviti_vigne et dans le système Aviti, qui possèdent des couverts végétaux similaires (en abondance et diversité) que dans le compartiment Dviti_arbre, présentant des couverts moins abondants et moins diversifiés. Les valeurs de richesse spécifique varient entre 0 à 4 ou à 5 pour l'ensemble des systèmes, de 0 à 48 (Aviti) et 57 (Dviti_vigne) et de 0 à une 12 et 17 pour Dviti_arbre et Tviti. Ces résultats peuvent laisser penser que le compartiment Dviti_arbre est moins attractif que le couvert de Dviti_vigne pour les pollinisateurs.

→ Richesse spécifique et abondance des phytophages

Les systèmes n'impactent pas de manière significative le nombre d'espèces ni l'abondance des phytophages (figures 14 et 15). Il est surprenant de constater que, même dans le système Tviti qui a des inter-rangs désherbés, l'abondance de phytophages n'est pas plus basse que dans les systèmes agroécologiques. Cela peut s'expliquer par la biologie et les capacités de dispersion des espèces incluses dans la catégorie « phytophages », qui peuvent provenir de bien plus loin, et ne pas être

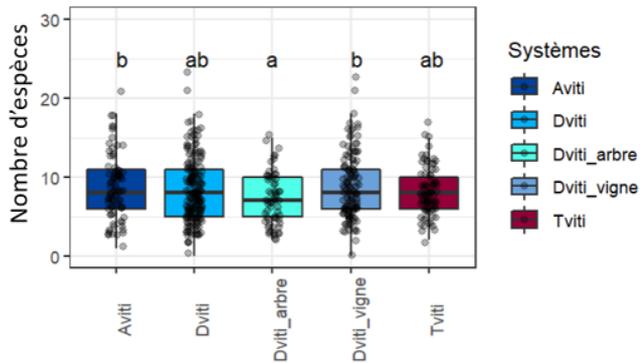


Figure 10 : Richesse spécifique totale des arthropodes par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

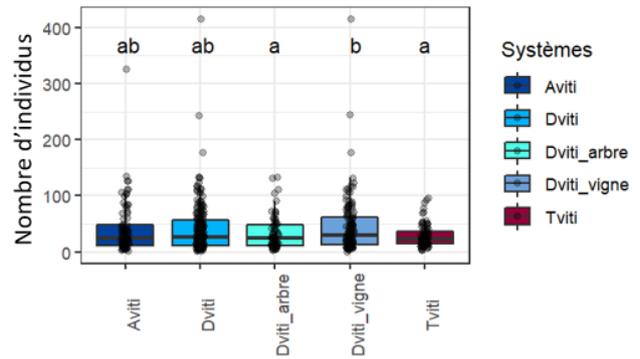


Figure 11 : Abondance totale des arthropodes par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

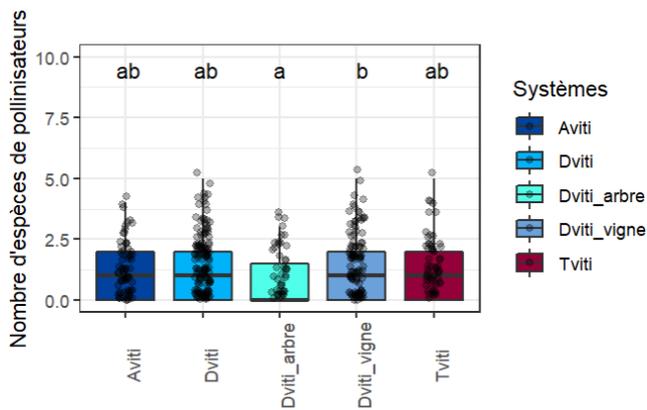


Figure 12 : Richesse spécifique des pollinisateurs par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

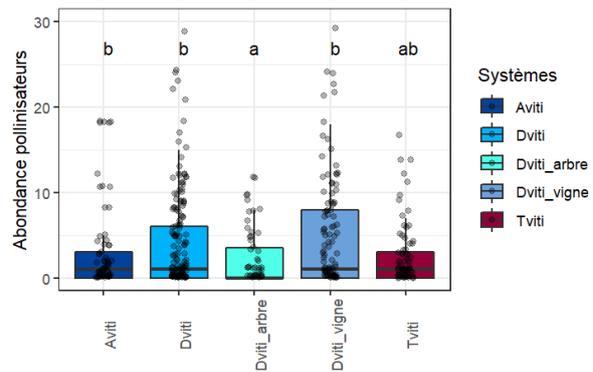


Figure 13 : Abondance des pollinisateurs par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

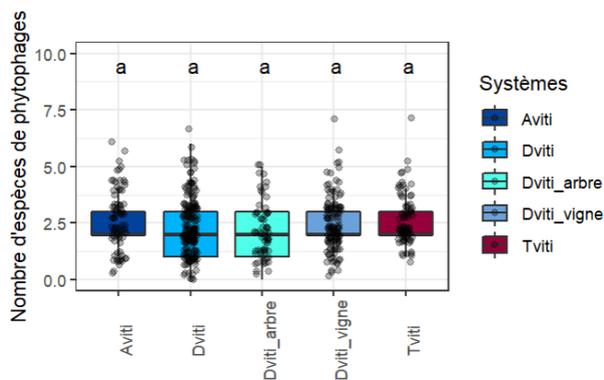


Figure 14 : Richesse spécifique des phytophages par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

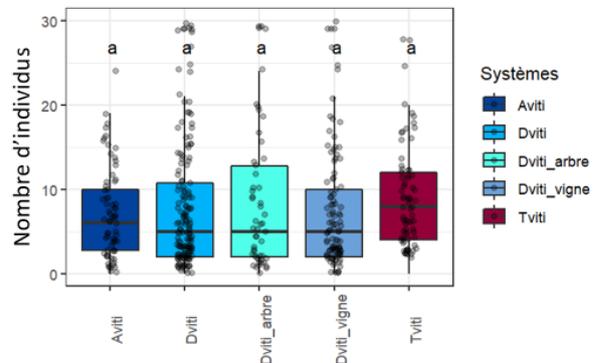


Figure 15 : Abondance des phytophages par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

impactés par les effets de la gestion locale des parcelles. Les valeurs de richesses spécifiques sont équivalentes entre les systèmes, avec des maximums compris entre 5 et 7 pour tous les systèmes.

→ Richesse spécifique et abondance de prédateurs

Le système a un effet significatif sur le nombre d'espèces de prédateurs (figure 16). Le système Aviti présente une richesse spécifique de prédateurs significativement plus importante que les deux autres systèmes. En décomposant le système Dviti, on remarque que le nombre d'espèces piégées dans le compartiment arbre est significativement inférieur à celui du système Aviti, et n'est significativement différent ni de Dviti_vigne ni du témoin (Tviti), avec une valeur moyenne intermédiaire. Les valeurs de richesse spécifique ont toutes la même dispersion, de 0 à 7 ou 8.

Les systèmes n'ont pas d'effets significatifs sur l'abondance des prédateurs (figure 17). En décomposant le système Dviti, les résultats ne sont toujours pas significatifs, on note même un nombre d'espèces de prédateurs médian inférieur dans le compartiment arbre. Le compartiment Dviti_arbre a des valeurs deux fois plus dispersées que les autres systèmes.

Les arbres ne semblent donc pas constituer un réservoir de prédateurs au vu des groupes capturés ici. Ils ne présentent ni une diversité ni une abondance de prédateurs supérieure aux autres systèmes. La diversité de prédateurs semble plutôt liée aux couverts. En effet, la richesse spécifique des prédateurs est plus importante pour le système Aviti et le compartiment Dviti_vigne qui ont des couverts plus diversifiés et un taux de couverture plus important que les autres systèmes. Cependant, si les couverts semblent avoir un effet sur le nombre d'espèces de prédateurs, ils n'en ont aucun sur leur abondance.

Diversité et abondance taxonomique

→ Diversité et abondance des araignées

Le système a un impact significatif sur le nombre d'espèces d'araignées, avec un nombre significativement plus élevé dans le système Aviti (figure 18). Le compartiment Dviti_arbre présente un nombre d'espèces significativement inférieur au système Aviti, et le compartiment Dviti_vigne a des valeurs intermédiaires. Le système Tviti n'est pas significativement différent de Dviti_arbre. D'autre part le système ne semble pas avoir d'effet sur l'abondance des araignées (figure 19).

La diversité des espèces d'araignées est plus importante dans les systèmes Aviti et Dviti_vigne, mais le nombre d'individus n'est pas plus important. Les valeurs de richesse spécifique sont comprises entre 0 et 6 ou 7 pour tous les systèmes. Globalement les systèmes enherbés ont tendance à présenter un impact positif sur le nombre d'espèces d'araignées.

→ Diversité et abondance des hyménoptères

La richesse spécifique des hyménoptères n'est pas significativement différente entre les systèmes, même en décomposant le système Dviti (figure 20). En revanche, le système a un impact significatif sur leur abondance (figure 21). Le système Tviti présente une abondance significativement plus basse que les autres systèmes. En décomposant le système Dviti, on remarque que le compartiment Dviti_vigne présente une abondance significativement plus importante que le compartiment Dviti_arbre qui n'est pas significativement différent du témoin, lui-même ayant une abondance significativement plus faible que les systèmes Aviti et Dviti_vigne. Les dispersions des valeurs de richesses spécifiques sont équivalentes entre tous les systèmes (de 0 à 4,5,6 espèces), mais la dispersion des valeurs d'abondance est très différente d'un système à l'autre, pouvant être multiplié par 8 entre Tviti (54 individus) et Dviti_vigne (401 individus). Les systèmes comportant les couverts les plus diversifiés et les plus abondants présentent une diversité d'espèces d'hyménoptères plus importante, mais on ne retrouve pas cet effet sur leur abondance.

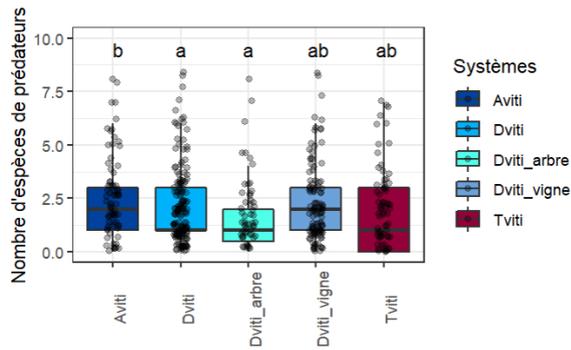


Figure 16 : Richesse spécifique des prédateurs par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

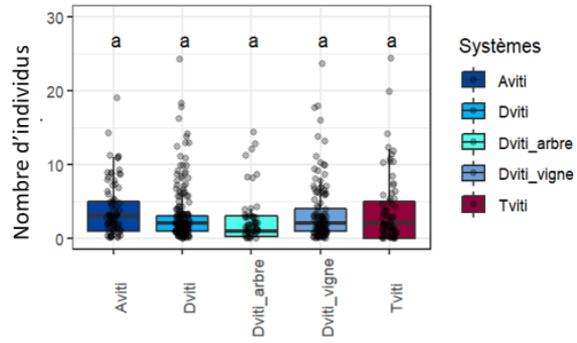


Figure 17 : Abondance des prédateurs par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

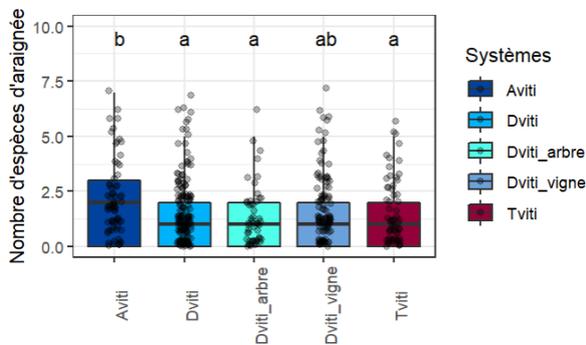


Figure 18 : Richesse spécifique des araignées par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

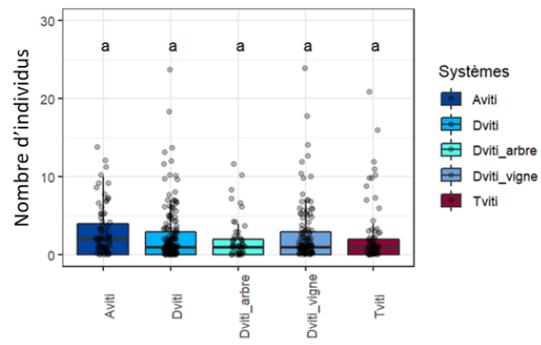


Figure 19 : Abondance des araignées par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

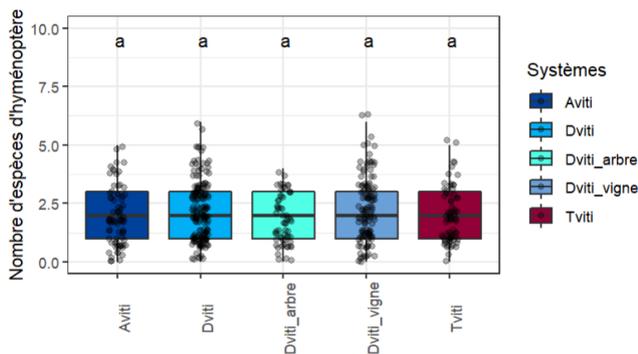


Figure 20 : Richesse spécifique des hyménoptères par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

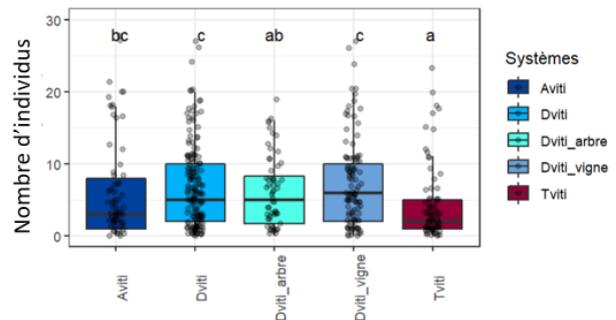


Figure 21 : Abondance des hyménoptères par système. Les lettres désignent une p -values < 0,05, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

→ Diversité et abondance des coléoptères

Le système n'a pas d'effet sur l'abondance des coléoptères ni sur leur richesse spécifique. Les dispersions des valeurs de richesse spécifique sont semblables entre les systèmes avec des maximums de 3 à 4 espèces (figures 22 et 23).

→ Diversité et abondance des opilions

Le système Tviti présente une abondance et une richesse spécifique d'opilion significativement plus élevée mais le nombre d'espèces et le nombre d'individus restent très faible, avec des maximums de 3 à 5 individus, et à 2 espèces au maximum (figures 24 et 25). Cet effet est donc à relativiser.

→ Corrélations des variables faunes et flores

La matrice des corrélations montre que l'abondance et la richesse spécifique de prédateurs est positivement corrélée à l'abondance et à la richesse spécifique totale des arthropodes, à la richesse spécifique des phytophages et à l'abondance et à la richesse spécifique des coléoptères (figure 26, voir l'encadré). Ces corrélations ont toutes une p-value > 0.01 (annexe VI). Il est surprenant de constater que les phytophages ne sont pas corrélés au taux de recouvrement végétal. L'abondance et la richesse des phytophages et des pollinisateurs sont corrélées. Les variables des pollinisateurs sont également corrélées à l'abondance et la richesse totale, ils pourraient donc être de bons indicateurs de biodiversité. Un tableau récapitulatif des résultats se trouve en annexe VII.

IV/DISCUSSION

→ H1 La diversité et l'abondance végétale du système agroforestier (Dviti) sont supérieures à celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).

Les couverts des systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne** sont équivalents, en termes d'abondance, de richesse spécifique et d'hétérogénéité. Ils ont une richesse spécifique moyenne de 9 espèces et un indice de Shannon moyen de 1,6. Une étude dans des vignes à proximité de la parcelle d'expérimentation présente des valeurs de Shannon de 2,1 pour des inter-rangs ayant des couverts de végétation spontanée et de 1,3 pour des inter-rangs cultivés (Kazakou et al. 2016). Les couverts des inter-rangs de **Aviti** et de **Dviti_vigne** sont composés à la fois d'espèces semées et spontanées, l'indice de Shannon des systèmes **Aviti** et de **Dviti_vigne** est donc cohérent. L'indice de Shannon indique que les couverts comportaient des espèces ayant un taux de couverture important comme *Helminthotheca echioides*, qui les rendent moins hétérogènes. Ces couverts avaient un taux de recouvrement de 60% en moyenne, ce qui approche les taux de recouvrements nécessitant une vigilance particulière quant aux problèmes de compétition hydro-azotés évoqués dans la bibliographie. La vigueur de la vigne des systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne** est d'ailleurs impactée, en comparaison avec le système **Tviti**, qui ne subit pas de compétition puisque les inter-rangs de ce système sont travaillés (annexe VIII). Cet impact sur la vigne est à relativiser avec les bénéfices apportés pour la biodiversité, détaillés ci-après. La conduite des inter-rangs des systèmes **Aviti** et du compartiment **Dviti_vigne** est similaires : les mêmes espèces y ont été semées, les couverts ont été tondus au même moment, et ils ont été irrigués à la même fréquence. En effet, l'irrigation des vignes par aspersion arrose également l'inter-rang, ce qui est un facteur explicatif de l'abondance plus importante de ces couverts.

Le compartiment **Dviti_arbre** comporte un couvert moins abondant (48% de taux de recouvrement), moins diversifié (6 espèces en moyenne) et moins hétérogène, avec un indice de Shannon de 1,2. Les arbres sont irrigués par goutte à goutte, le couvert en inter-rangs de **Dviti_arbre** ne bénéficie donc pas autant de l'irrigation que ceux des systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne**, ce qui peut expliquer son abondance plus faible. De plus, le couvert de **Dviti_arbre** est uniquement composé de végétation spontanée, il n'y a que peu d'espèces sélectionnées, qui deviennent dominantes.

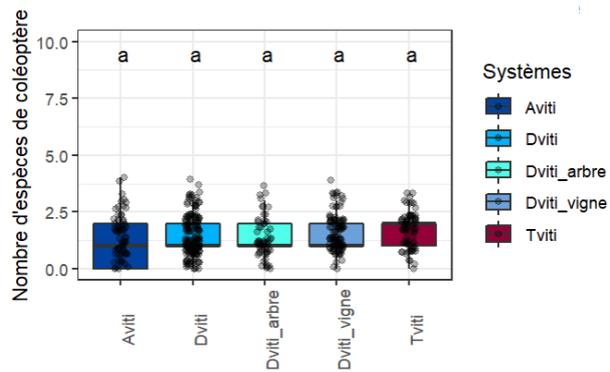


Figure 22 : Richesse spécifique des coléoptères par système. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

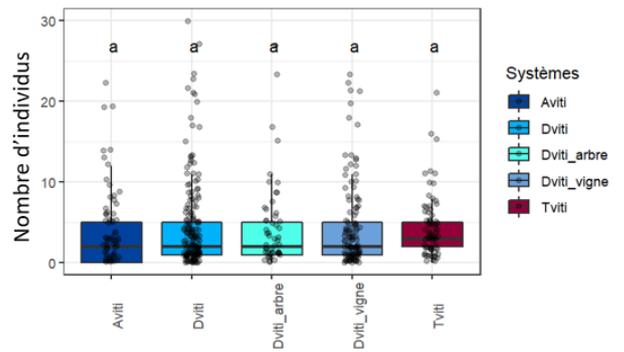


Figure 23 : Abondance des coléoptères par système. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

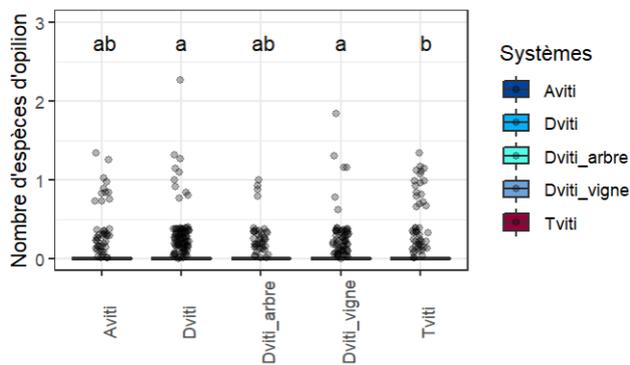


Figure 24 : Richesse spécifique d'opilions par système. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

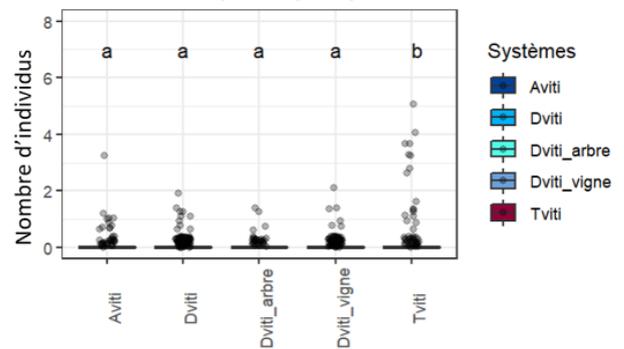


Figure 25 : Abondance d'opilions par système. Les lettres désignent une p -value $< 0,05$, indiquant une différence significative entre les systèmes dans les comparaisons deux à deux. Chaque point correspond à une observation.

Les inter-rangs du système **Tviti** étant travaillés, les couverts ne présentent que quelques individus, avec une richesse spécifique très faible (moyenne de 3 espèces), expliqué par le travail du sol, et un Shannon moyen de 0,5, expliqué par la faible diversité. On constate une vigueur de la vigne plus élevée que dans les autres systèmes, en raison de l'absence de compétition hydro-azotée en inter-rangs.

Il semble donc que l'hypothèse ne soit pas validée, car les couverts du système **Dviti** dans leur ensemble n'ont pas une abondance relative ni une richesse spécifique supérieures à celles du système **Aviti**. En effet, la diversité végétale des systèmes n'est pas significativement différente, mais l'abondance moyenne des couverts est effectivement décroissante dans l'ordre : **Aviti** \geq **Dviti** \geq **Tviti**, sans que les différences ne soient significatives entre tous les systèmes. D'autre part, le compartiment **Dviti_arbre**, étant moins diversifié, il participe à la baisse des valeurs de diversité spécifique et d'abondance moyennes des couverts de l'ensemble du système **Dviti**.

➔ H2. Le système agroforestier (**Dviti**) présente une diversité spécifique et une abondance d'arthropodes plus élevées que celles du système agroécologique (**Aviti**) elles-mêmes supérieures à la diversité et l'abondance du système témoin (**Tviti**).

- Effet des couverts sur la faune

➤ Couverts

En considérant l'ensemble de la faune piégée, on constate un impact des systèmes sur l'abondance totale d'arthropodes mais pas sur leur richesse spécifique. En décomposant le système **Dviti**, il apparaît que les richesses spécifiques d'arthropodes du compartiment **Aviti** et **Dviti_vigne** sont équivalentes et significativement supérieures aux richesses spécifiques de la faune des autres systèmes. Si on classe les systèmes selon la richesse spécifique végétale, l'indice de Shannon et l'abondance relative, l'ordre des systèmes ayant les couverts les plus abondants, diversifiés et hétérogènes est **Aviti = Dviti_vigne** $>$ **Dviti_arbre** $>$ **Tviti**.

➤ Abondance et richesse spécifique de la faune piégée

La richesse spécifique d'arthropodes semble liée aux couverts, car on constate qu'elle est plus élevée dans les systèmes ayant les couverts les plus diversifiés et les plus abondants (**Aviti** et **Dviti_vigne**). L'abondance totale de la faune semble également impactée par la diversité des couverts car on retrouve un nombre d'individus plus important dans les systèmes les plus diversifiés et moins important dans les systèmes les moins diversifiés. Le compartiment **Dviti_arbre** a une valeur moyenne d'abondance d'arthropodes qui reste supérieure à celle de **Tviti**. On peut faire l'hypothèse que le couvert de **Dviti_arbre** n'est pas suffisamment développé (en termes d'abondance relative, de richesse spécifique et d'hétérogénéité) pour présenter une différence significative d'abondance d'arthropodes avec l'abondance mesurée en **Tviti** qui n'a quasiment pas de couverts en inter-rangs. Les systèmes qui semblent accueillir le plus grand nombre d'espèces et d'individus sont donc les systèmes dit « agroécologiques » (**Aviti** et **Dviti_vigne**) avec des inter-rangs diversifiés. La dispersion des valeurs d'abondance de la faune montre que les répartitions d'arthropodes ne sont pas homogènes au sein du système, il pourrait être intéressant d'étudier ces répartitions et notamment les valeurs hautes qui correspondent à des spots d'abondance, pour mieux comprendre les interactions de la faune et du système.

➤ Diversité faunistique fonctionnelle

Les phytophages ne semblent pas être impactés par les systèmes. Il est surprenant de constater que leur abondance et leur richesse spécifique ne soit pas inférieures dans le système **Tviti** qui comporte pourtant une faible abondance végétale. Cependant, le groupe des phytophages est très large, et même si le nombre d'espèces est équivalent, il ne s'agit peut-être pas des mêmes espèces d'un système à l'autre. Il est donc très difficile de tirer des conclusions.

En accord avec la « **théorie de spécialisation des ressources** », on pourrait également s'attendre à ce que la diversité d'espèces de phytophages soit plus importante dans les systèmes ayant la flore la plus diversifiée et abondante, offrant une plus grande quantité et diversité de ressources végétales.

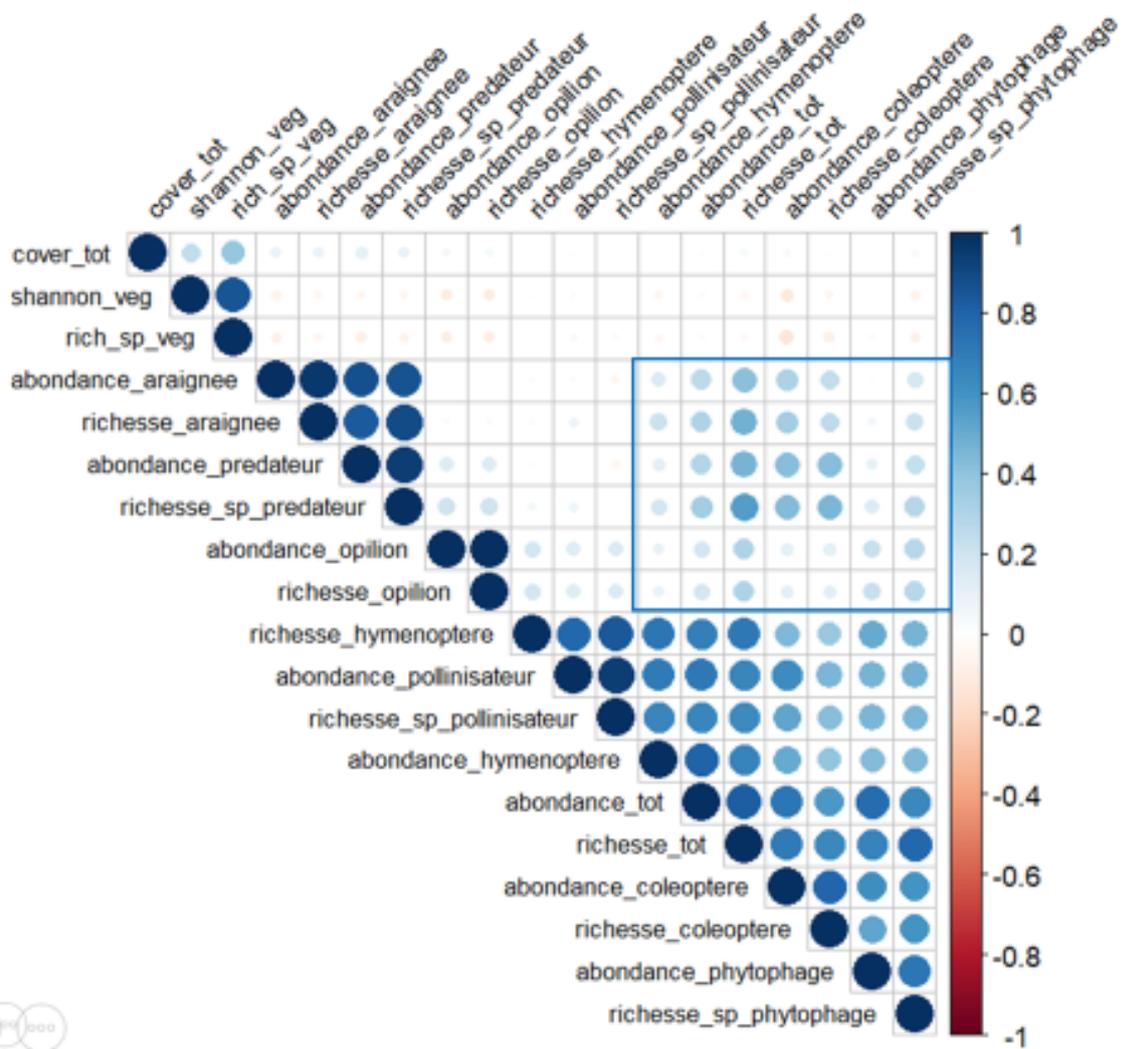


Figure 26 : Matrice des corrélations entre les variables de la faune et de la flore. La taille des disques est proportionnelle à la significativité de la corrélation. Le bleu indique une corrélation positive et le rouge une corrélation négative. L'encadré cible les corrélations positives et majeures, avec les prédateurs.

Cependant, la matrice de corrélation ne montre pas de lien entre l'abondance ou la richesse spécifique des phytophages et le taux de couverture, la richesse des couverts ou l'indice de Shannon. On peut néanmoins émettre l'hypothèse que les ennemis naturels et plus particulièrement les prédateurs, dont le nombre d'espèces est plus important dans les systèmes diversifiés, contrôlent grâce aux régulations naturelles, l'abondance des phytophages dans ces systèmes. La matrice de corrélation montre d'ailleurs que l'abondance et la richesse spécifique des prédateurs est corrélée significativement à la richesse spécifique des phytophages et, de manière non significative, à leur abondance. Ces résultats sont cohérents avec les résultats de plusieurs études, qui constatent une diminution des populations de ravageurs et une augmentation des populations d'ennemis naturels dans les vignes avec une diversité et une abondance végétale plus importante (Altieri et al. 2005 ; Pumariño et al. 2015).

Cependant, on constate que l'abondance de prédateurs n'est pas impactée par le système, alors que les valeurs de richesse spécifique de ce groupe semblent liées à la diversification et à l'abondance des couverts, car elles sont plus importantes dans les systèmes ayant les couverts les plus abondants et diversifiés. Cela corrobore « **L'hypothèse des ennemis** » qui suppose qu'une plus grande diversité végétale entraîne une diversité de ressources plus importante (nectar, pollen ...) et attire donc plus de proies, attirant à leur tour plus d'ennemis naturels et ici, plus de prédateurs (Letourneau 1987). De plus les ressources de pollen et de nectar favorisent également les parasitoïdes qui font partie des ennemis naturels. Mais cet élément n'est pas pris en compte dans cette étude, étant donné qu'il n'y a pas eu de parasitoïdes identifiés lors des piégeages.

D'autre part, on trouve une richesse spécifique de prédateurs moins forte dans le compartiment **Dviti_arbre** que dans le compartiment **Dviti_vigne** et **Aviti**. Les piégeages effectués durant cette expérimentation ne permettent pas de montrer que les arbres constituent une réserve d'ennemis naturels, comme ce qui a été montré par Altieri et al. (2005). Cependant, l'abondance et la richesse totale de la faune sont également plus faibles dans le compartiment **Dviti_arbre**, possiblement à cause des couverts moins développés et donc de ressources alimentaires plus rares et/ou différentes des couverts en inter-rangs de vigne. Ainsi le nombre de proies disponibles dans ce compartiment est plus faible, ce qui explique une abondance et une richesse des prédateurs inférieure aux autres couverts.

Les pollinisateurs sont considérés ici comme un indicateur de biodiversité, mais peuvent aussi participer à polliniser les couverts, notamment pour les espèces spontanées. Ce groupe semble également impacté par la richesse et l'abondance des couverts car on observe plus d'individus et un plus grand nombre d'espèces dans les systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne**. On peut émettre l'hypothèse que ce sont les ressources florales, plus développées dans ces systèmes qui attirent les pollinisateurs. La matrice de corrélation montre que la richesse et l'abondance des pollinisateurs est corrélée à la richesse et à l'abondance totale, ce qui en fait un bon indicateur de biodiversité de la faune. La présence de ce groupe est également reliée à d'autres groupes comme les phytophages ou les coléoptères : soit il y a une relation de prédation entre ces groupes (certains coléoptères peuvent être des prédateurs) soit ces groupes sont attirés par des ressources contenues dans les mêmes couverts.

➤ Diversité de la faune taxonomique

Les araignées, qui sont des prédateurs généralistes, ont une richesse spécifique et une abondance supérieure dans les systèmes les plus diversifiés (**Aviti** et **Dviti_vigne**). Ce groupe a été principalement capturé par battages et dépend donc du développement de la canopée de la vigne. On note que **Tviti** a une canopée plus développée, ce qui pourrait favoriser la présence d'araignées, mais **Tviti** présente une abondance totale d'insectes inférieure aux autres systèmes, ce qui implique un nombre de proies disponibles plus faible que dans les autres systèmes, ce qui pourrait compenser l'effet de la canopée.

Les opilions sont également des prédateurs et donc un groupe intéressant à étudier de plus près. Ils sont significativement plus abondants et ont un nombre d'espèces plus grand dans le système **Tviti** mais à une échelle de 3 espèces et de 6 individus en moyenne, ce qui en fait un effet marginal. La matrice des corrélations montre cependant, que leur abondance et leur richesse spécifique est corrélée à des

variables comme l'abondance et la richesse des phytophages, ou l'abondance et la richesse spécifique des arthropodes, à l'image des prédateurs. Il s'agit donc d'un groupe d'intérêt dans les régulations naturelles, qu'il faudra continuer d'étudier.

➔ Discussion du dispositif expérimental

➤ Piégeage

La faune échantillonnée ne correspond pas complètement à la faune réellement présente sur la parcelle. Les données faunistiques sont fortement impactées par le type de piégeage, comme le montre la heatmap avec l'effet significatif du type de pièges sur les variables de la faune (les coupelles piègent plus d'insectes volants, les barber plus d'insectes rampants...) (figure 8). Par exemple, il a été montré que le nombre de carabes échantillonnés augmente significativement avec le diamètre des pièges barber (Lange, et al. 2011; Montgomery et al. 2021). Dans cette étude, les pièges barber ne faisaient que 6cm de diamètre, ce qui pourrait expliquer une sous-représentation des coléoptères, en minimisant les coléoptères rampants. De plus, les coupelles comportaient un étage à 1 m du sol et un étage au sol visant à capturer les insectes volants attirés par le couvert. Cependant, on constate que beaucoup d'insectes rampant sont piégés dans ces coupelles, ce qui implique une surreprésentation de cette partie de la faune.

Par ailleurs, pour mieux estimer le rayon d'action de la faune favorisée par les arbres, il serait intéressant d'adapter le plan d'expérimentation en effectuant des piégeages à intervalles réguliers, s'éloignant progressivement du compartiment **Dviti_arbre**.

D'autre part, une étude plus précise de la répartition des arthropodes dans le temps et l'espace permettrait de mieux comprendre les relations entre la faune et les systèmes, mais aussi les relations de prédation et de parasitisme. Par exemple identifier un spot d'abondance d'une espèce animale pourrait permettre d'identifier un lien avec un trait floristique ou avec un spot d'abondance de prédateur. L'impact des traits floristiques comme la hauteur des couverts, ou encore les ressources en pollen et en nectar, sur la faune doit être étudié plus précisément. Cependant, l'analyse de ces traits représentait un travail trop conséquent dans le cadre de cette étude.

➤ Parcelle expérimentale

L'âge de la vigne et des arbres est à prendre en considération. En effet, le dispositif est jeune (3 ans) et les arbres sont encore relativement petits, mesurant approximativement 2 m de haut. L'effet d'ombrage, et de microclimat qui ont, selon plusieurs études un effet sur la faune et les régulations naturelles (Altieri et al. 2007 ; Pumariño et al. 2015) sont donc limités. La distance de plantation des arbres aux vignes (5m) pourrait être trop importante aujourd'hui, au vu de leur taille, pour avoir un effet de certains groupes présents au niveau du sol, ou de la canopée et préférant les milieux ombragés. Cela s'applique aussi bien à des ennemis naturels qu'à des ravageurs. L'impact du compartiment **Dviti_arbre** évoluera donc probablement.

La surface des différents compartiments étant largement différentes (**Tviti** : 0,17ha, **Aviti** : 0,18 ha **Dviti_vigne** : 0,06ha, **Dviti_arbre** 0,03ha) le nombre de pièges et donc l'échantillonnage est restreint pour les plus petits systèmes, étant donné que les données faunistiques ne sont pas ramenées à une unité de surface. Cependant, dans la démarche actuelle, ce sont des systèmes dans leur globalité qui sont comparés. Or, en agroforesterie la surface attribuée aux arbres n'est pas égale à la surface utilisée pour la culture associée. Ce système permet donc de correspondre à une réalité de terrain, mais rend plus difficile la comparaison des systèmes entre eux.

Plusieurs compartiments de la parcelle ne sont pas pris en compte dans l'étude, comme les haies d'oliviers qui séparent les systèmes, les actinidiars (kiwi) qui isolent le système témoin des systèmes agroécologiques et agroforestiers, ou encore les haies diversifiées qui encadrent la parcelle. Ces dispositifs sont réfléchis dans un but de compartimentation de la parcelle en tant que barrière physique, mais ils pourraient jouer un rôle dans l'attraction ou la répulsion de certains arthropodes en

agissant effectivement comme barrière ou avec des signaux olfactifs (émission de composés organiques volatiles) et ou visuels (Rao et al. 2000).

➤ Impact du paysage

Plusieurs études ont montré que l'impact de la biodiversité du paysage était prépondérant sur la biodiversité globale générée à l'échelle de la parcelle (Torralba et al. 2016 ; Wilson et al. 2017), cependant, ce n'est pas toujours vrai pour tous les groupes et il est donc utile de s'intéresser à l'échelle de la parcelle. Dans le cas de cette expérimentation, la parcelle se trouve dans un cadre diversifié, avec une prairie humide à proximité, de nombreux arbres, d'autres vignes avec des inter-rangs et des rangs désherbés. Il est donc possible qu'une partie de la biodiversité observée sur la parcelle soit attribuable à cet environnement.

V/CONCLUSION

➔ **Hypothèse : 1. La diversité et l'abondance végétale du système agroforestier (Dviti) sont supérieures à celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).**

L'hypothèse selon laquelle le système agroforestier (Dviti) présente la diversité végétale (richesse spécifique) et l'abondance (taux de recouvrement) la plus importante n'est pas vérifiée. En effet, les couverts ayant l'abondance et la diversité les plus importantes sont les couverts des systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne**. Ces couverts sont irrigués, et composés d'espèces semées et spontanées. Les couverts du système **Dviti_arbre**, uniquement composés d'espèces spontanées et n'étant pas irrigués, offrent une abondance et une diversité végétale moindre. Enfin, le système **Tviti**, pour lequel les inter-rangs sont travaillés, ont les couverts ayant l'abondance et la diversité la plus faible. Il semble donc que la conduite des couverts, commune au système **Aviti** et **Dviti_vigne**, soit la plus performante pour obtenir la végétation la plus diversifiée et la plus abondante.

➔ **Hypothèse 2. Le système agroforestier (Dviti) présente une diversité et une abondance d'arthropodes plus élevées que celles du système agroécologique (Aviti) elles-mêmes supérieures à celles du système témoin (Tviti).**

Ce n'est pas le système agroforestier dans son ensemble qui présente une abondance et une diversité d'arthropodes les plus élevées, mais les systèmes **Aviti** et **Dviti_vigne**. On peut supposer que la diversité et l'abondance des couverts, qui offrent un panel de ressources alimentaires plus large et en quantité plus importante, participent à cette diversité et à cette abondance de la faune piégée. Ce phénomène a été constaté dans la littérature scientifique, avec des études montrant que l'augmentation de la diversité végétale peut accroître la biodiversité, et donc, la diversité d'insectes (Winter et al. 2018). *L'hypothèse du plus d'individus* explique également cet effet, en suggérant que l'augmentation de la biomasse végétale augmente les ressources alimentaires, permettant ainsi la présence d'un plus grand nombre d'individus par espèces (Srivastava et al. 1998). Il a également été montré que l'agroforesterie a tendance à augmenter le nombre d'insectes et leur richesse spécifique (Altieri et al. 2002). Ici le compartiment **Dviti_arbre** a présenté une abondance et une diversité d'arthropodes inférieure aux autres systèmes. Cependant, il est difficile de séparer l'effet du couvert (moins développé), et des arbres. Afin de mieux estimer les effets des arbres sur la faune, il faudrait donc que les différents systèmes aient les mêmes couverts, ce qui n'est pas le cas ici.

➔ **Hypothèse générale : La diversification et l'abondance végétale augmente l'abondance et la richesse spécifique des ennemis naturels ce qui améliore les régulations naturelles.**

Certaines publications suggèrent plus précisément que la diversité végétale au sein des vignobles favorise la diversité d'ennemis naturels ce qui améliore les régulations biologiques et permet de diminuer les populations de ravageurs (Stamps et al. 1997 ; Altieri et al. 2005; Winter et al. 2018). Ici on observe que dans les systèmes ayant les couverts les plus diversifiés (**Aviti** et **Dviti_vigne**), que la

diversité des prédateurs est supérieure aux autres systèmes, sans toutefois constater une augmentation de leur abondance. Les araignées qui sont des prédateurs généralistes, confirment ce phénomène à l'échelle taxonomique. De plus, la couverture végétale et notamment florale au sein des vignes permettrait de favoriser les ennemis naturels, via des ressources complémentaires (pollen et nectar), mais aussi en favorisant des populations leur servant de proies ou d'hôtes alternatifs (Altieri et al. 2005). Cependant, cette étude ne permet pas de le confirmer, car les traits floristiques n'ont pas été analysés. Ainsi, il serait nécessaire de s'intéresser à des facteurs tels que les ressources en nectar et en pollen pour mieux comprendre comment les couverts de cette parcelle impactent la faune.

D'autre part, les phytophages (qui ne sont pas des phytophages de la vigne) ne sont pas plus diversifiés ni plus abondants dans l'un ou l'autre système. On constate pourtant des ressources plus importantes dans les systèmes diversifiés. On peut émettre l'hypothèse que les régulations naturelles, soient plus efficaces dans ces systèmes, ce qui contrôlerait l'abondance des phytophages. Cependant, l'expérimentation ne permet pas de tester cette hypothèse. En effet, le dispositif ne permet pas d'étudier les régulations naturelles mais seulement de constater à l'échelle de l'ordre taxonomique et du groupe fonctionnel. Pour aller plus loin dans l'analyse de ces interactions au sein de la faune, il serait judicieux de suivre une chaîne trophique précise. De plus, l'utilisation de métabarcoding permettrait de confirmer la consommation d'une proie par son prédateur. Ainsi les groupes impliqués dans les régulations biologiques seraient identifiés à l'échelle de l'espèce.

VI/BIBLIOGRAPHIE

ALTIERI et NICHOLLS 2002. The Simplification of Traditional Vineyard Based Agroforests in Northwestern Portugal: Some Ecological Implications. *Agroforestry Systems*. 1 décembre 2002. Vol. 56, n° 3, pp. 185-191. DOI 10.1023/A:1021366910336.

ALTIERI, PONTI et NICHOLLS, 2005. Manipulating vineyard biodiversity for improved insect pest management: case studies from northern California. *International Journal of Biodiversity Science & Management*. 1 décembre 2005. Vol. 1, n° 4, pp. 191-203. DOI 10.1080/17451590509618092.

ALTIERI, et NICHOLLS, 2007. Ecologically based pest management in agroforestry systems. In : *Ecological Basis of Agroforestry*. pp. 95-107. journalAbbreviation: Ecological Basis of Agroforestry

BRUGGISSER, SCHMIDT-ENTLING, BACHER, 2010. Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biological Conservation*. juin 2010. Vol. 143, n° 6, pp. 1521-1528. DOI 10.1016/j.biocon.2010.03.034.

CHAPIN, WALKER, HOBBS, HOOPER, LAWTON, SALA, TILMAN, 1997. Biotic Control over the Functioning of Ecosystems. *Science*. 25 juillet 1997. Vol. 277, n° 5325, pp. 500-504. DOI 10.1126/science.277.5325.500.

CHUCHE et THIERY, 2014a. Biology and ecology of the Flavescence dorée vector *Scaphoideus titanus*: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 1 avril 2014. Vol. 34, n° 2, pp. 381-403. DOI 10.1007/s13593-014-0208-7.

CHUCHE et THIERY, 2014b. Biologie et ecologie de *Scaphoideus titanus*, cicadelle vectrice de la flavescence dorée. *phytoma*. 1 janvier 2014. pp. 25-29.

ECOPHYTOPIC, 2007. Pratiquer la lutte par conservation de la biodiversité fonctionnelle. 11 septembre 2007. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse: <https://ecophytopic.fr/pic/proteger/pratiquer-la-lutte-par-conservation-de-la-biodiversite-fonctionnelle>

FERNÁNDEZ-MENA, FREY CELETTE, GARCIA, BARKAOUI HOSSARD NAULLEAU MÉTRAL, GARY et METAY 2021. Spatial and temporal diversity of service plant management strategies across vineyards in the south of France. Analysis through the Coverage Index. *European Journal of Agronomy*. 1 février 2021. Vol. 123, pp. 126191. DOI 10.1016/j.eja.2020.126191.

FRANCEAGRIMER, 2019. chiffres filière viti vinicole 2008-2018.pdf. [en ligne]. 2019. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse: https://www.franceagrimer.fr/content/search/?recherche-search=&recherche_simple%5BsearchText%5D=chiffre%20cl%C3%A9%20viticulture&recherche_simple%5BfiltreFiliere%5D=1508&page=1

GUENSER, BOURGADE, VERGNES, DUFOURCQ et MARY 2018. Assessment of biodiversity and agronomic parameters in two Agroforestry vineyards. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 50, pp. 01013. DOI 10.1051/e3sconf/20185001013.

GURR, WRATTEN et ALTIERI, 2004. *Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods*. . Csiro Publishing. ISBN 0-643-09022-3.

HUNTER et PRICE, 1992. Playing Chutes and Ladders: Heterogeneity and the Relative Roles of Bottom-Up and Top-Down Forces in Natural Communities. *Ecology*. 1992. Vol. 73, n° 3, pp. 724-732.

IFV, 2016. Institut Français de la Vigne et du Vin - Synthèse mi parcours ecophyto. [en ligne]. décembre 2016. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.vignevin.com/?s=ift&x=0&y=0>

IFV, 2019. L'enherbement en viticulture méditerranéenne. [en ligne]. 2 août 2019. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.vignevin.com/article/enherbement-mediterraneen/>

IFV, 2022. Flavescence dorée | Institut Français de la Vigne et du Vin. [en ligne]. 2022. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.vignevin.com/publications/fiches-pratiques/flavescence-doree/>

ITAB, 2022. *La protection contre les vers de la grappe en viticulture biologique* [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse: http://itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_viti/viti%20vers%20grappe.pdf

KAZAKOU, FRIED, RICHARTE, GIMENEZ, VIOLLE, et METAY, 2016. A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Botany Letters*. 1 octobre 2016. Vol. 163, n° 4, pp. 373-388. DOI 10.1080/23818107.2016.1232205.

LANGE, GOSSNER, et WEISSER, 2011. Effect of pitfall trap type and diameter on vertebrate by-catches and ground beetle (Coleoptera: Carabidae) and spider (Araneae) sampling. *Methods in Ecology and Evolution*. 2011. Vol. 2, n° 2, pp. 185-190. DOI 10.1111/j.2041-210X.2010.00062.x. 1.

LETOURNEAU, 1987. The Enemies Hypothesis: Tritrophic Interactions and Vegetational Diversity in Tropical Agroecosystems. *Ecology*. décembre 1987. Vol. 68, n° 6, pp. 1616-1622. DOI 10.2307/1939853.

MACLAREN, BENNETT, DEHNEN-SCHMUTZ, 2019. Management practices influence the competitive potential of weed communities and their value to biodiversity in South African vineyards. STORKEY, Jonathan (éd.), *Weed Research*. avril 2019. Vol. 59, n° 2, pp. 93-106. DOI 10.1111/wre.12347.

Mini guide Enherbement, 2019. [en ligne]. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.vignevin-occitanie.com/wp-content/uploads/2019/09/Mini-guide-Enherbement.pdf>

MONTGOMERY, BELITZ, GURALNICK, TINGLEY, 2021. Standards and Best Practices for Monitoring and Benchmarking Insects. *Frontiers in Ecology and Evolution*. [en ligne]. 2021. Vol. 8. [Consulté le 23 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2020.579193>

MOREIRA, SANTOS, PENNA, ANGEL-COCA, DE OLIVEIRA, VIANA, 2016. Are pan traps colors

complementary to sample community of potential pollinator insects? *Journal of Insect Conservation*. 1 août 2016. Vol. 20, n° 4, pp. 583-596. DOI 10.1007/s10841-016-9890-x.

NAIR, 1993. State-of-the-art of agroforestry research and education. *Agroforestry Systems*. 1 septembre 1993. Vol. 23, n° 2, pp. 95-119. DOI 10.1007/BF00704909.

PAIOLA, ASSANDRI, BRAMBILLA, ZOTTINI, PEDRINI, NASCIMBENE, 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*. mars 2020. Vol. 706, pp. 135839. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.135839.

PLANTUREUX, AMIAUD, 2010. e-FLORA-sys, a website tool to evaluate the agronomical and environmental value of grasslands. *Agricultural science and technology information*. Septembre 2010. <http://prodinra.inra.fr/ft/A9919407-65DF-442B-9291-40331D08109D>

PUMARIÑO, SILESHI, GRIPENBERG, KAARTINEN, BARRIOS, MUCHANE, MIDEGA, JONSSON, 2015. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*. 1 novembre 2015. Vol. 16, n° 7, pp. 573-582. DOI 10.1016/j.baae.2015.08.006.

RAO, SINGH, DAY, 2000. Insect pest problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems*. 1 décembre 2000. Vol. 50, n° 3, pp. 243-277. DOI 10.1023/A:1006421701772..

ROSAS-RAMOS, BAÑOS-PICÓN, TOBAJAS, DE PAZ, TORMOS, 2018. Value of ecological infrastructure diversity in the maintenance of spider assemblages: A case study of Mediterranean vineyard agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 octobre 2018. Vol. 265, pp. 244-253. DOI 10.1016/j.agee.2018.06.026.

SAFARALIZADEH, 2016. Evaluation of the efficacy of some biological insecticides for reducing damage and conserving the parasitoids of grape berry moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in Urmia vineyards. *BioControl in Plant Protection*. 20 février 2016. Vol. 3, n° 2, pp. 97-108. DOI 10.22092/bcpp.2016.103029.

SANCHEZ, 1995. Science in agroforestry. In : SINCLAIR, Fergus L. (éd.), *Agroforestry: Science, Policy and Practice: Selected papers from the agroforestry sessions of the IUFRO 20th World Congress, Tampere, Finland, 6–12 August 1995*. [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 5-55. Forestry Sciences. [Consulté le 16 août 2022]. ISBN 978-94-017-0681-0.

SRIVASTAVA, LAWTON, 1998. Why More Productive Sites Have More Species: An Experimental Test of Theory Using Tree-Hole Communities. *The American Naturalist*. octobre 1998. Vol. 152, n° 4, pp. 510-529. DOI 10.1086/286187.

STAMPS et LINIT, 1997. Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. 1 octobre 1997. Vol. 39, n° 1, pp. 73-89. DOI 10.1023/A:1005972025089.

SUGIURA et OSAWA, 2001. Parasitoid Community Associated with the Leafroller *Eudemis gyrotis* (Lepidoptera, Tortricidae) on a Bayberry, *Myrica rubra* (Myricaceae). *Entomological Science*. 25 mars 2001. Vol. 4, n° 1, pp. 25-34.

TABARY, 2021. Analyse de la biodiversité taxonomique et fonctionnelle de la faune auxiliaire dans des systèmes viticoles agroécologiques présentant un gradient de diversification. Mémoire d'Ingénieur de L'institut Agro Montpellier, Option Inter-Etablissement Protection des Plantes et Environnement. 2021 Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03669535> [Consulté le 7 mars 2022].

TORRALBA, FAGERHOLM, BURGESS, MORENO, PLIENINGER, 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 16 août 2016. Vol. 230, pp. 150-161. DOI 10.1016/j.agee.2016.06.002.

VARAH, 2013. Enhanced biodiversity and pollination in UK agroforestry systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture - Wiley Online Library*. [en ligne]. 2013. [Consulté le 19 juillet 2022]. Disponible à l'adresse: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6148>

WILSON, MILES, DAANE, ALTIERI, 2017. Landscape diversity and crop vigor outweigh influence of local diversification on biological control of a vineyard pest. *Ecosphere*. 2017. Vol. 8, n° 4, pp. e01736. DOI 10.1002/ecs2.1736.

WINTER, BAUER, STRAUSS, KRATSCHMER, PAREDES, POPESCU, LANDA, GUZMÁN, GÓMEZ, GUERNION, ZALLER, BATÁRY, 2018. Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. 2018. Vol. 55, n° 5, pp. 2484-2495. DOI 10.1111/1365-2664.13124.

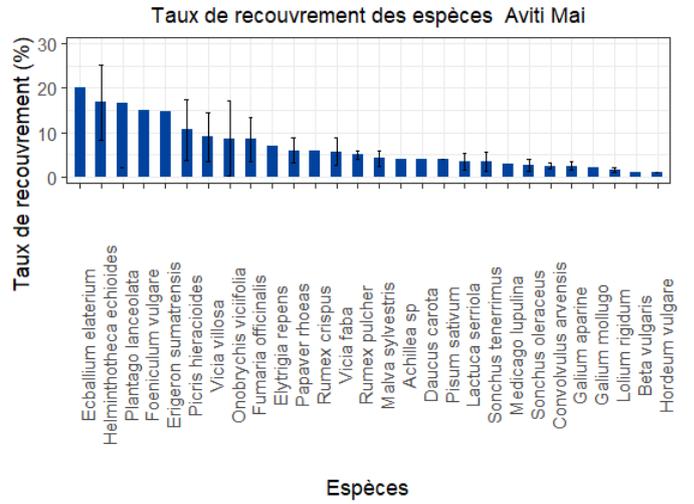
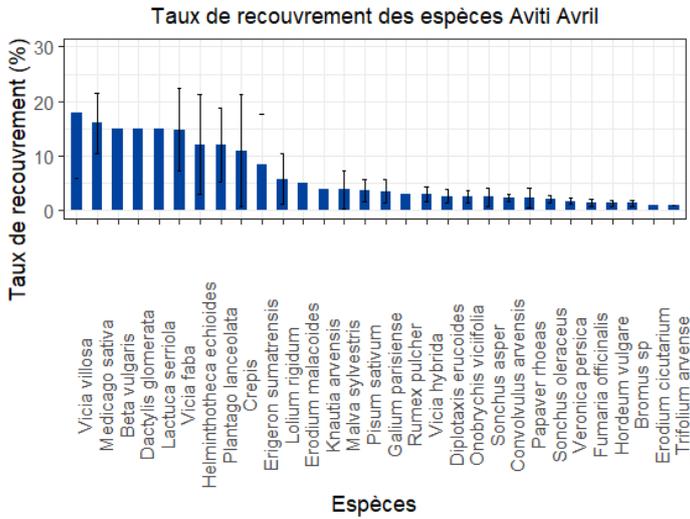
ZHAO, HUI, REDDY, OUYANG, MEN, GE, 2019. Plant Species Richness Controls Arthropod Food Web: Evidence From an Experimental Model System. *Annals of the Entomological Society of America*. 1 janvier 2019. Vol. 112, n° 1, pp. 27-32. DOI 10.1093/aesa/say038.

VII/ ANNEXES

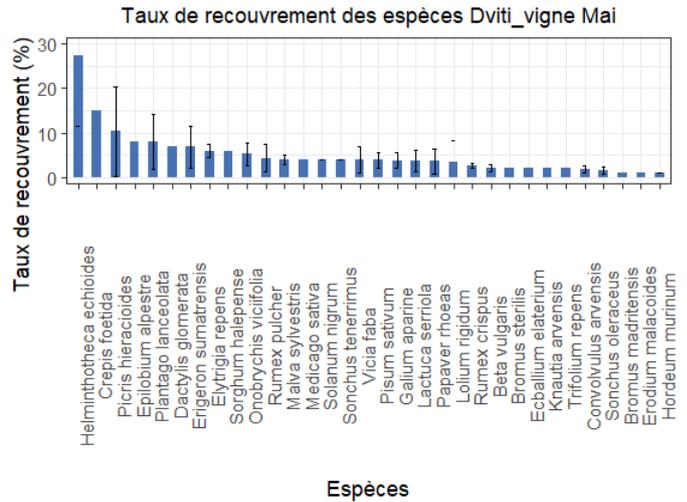
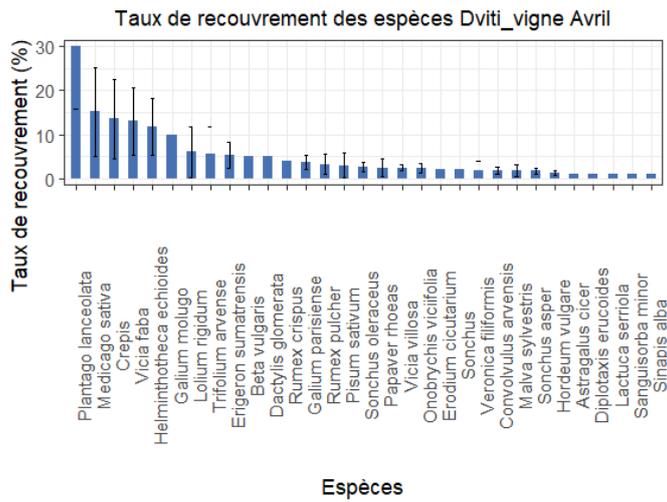
Annexe I : Total des espèces animales capturées durant l'étude

Fonction	Espèce	Fonction	Espèce	Fonction	Espèce
Pollinisateur	Athalia sp	Prédateur	Linyphiidae sp1	Prédateur	Pachygnatha sp
Pollinisateur	Andrena sp	Prédateur	Aelurillus sp	Prédateur	Dysdera erythrina
Pollinisateur	Nomada sp	Prédateur	Xysticus kochi	Prédateur	Walckenaeria corniculans
Pollinisateur	Apis mellifera	Prédateur	Agyneta rurestris	Prédateur	Ozyptila pauxila
Pollinisateur	Lasioglossum Evylaeus caréné	Prédateur	Alopecosa pulverulenta	Prédateur	Phlegra bresnieri
Pollinisateur	Halictus sp	Prédateur	Eratigena fuesslini	Prédateur	Pellenes arciger
Pollinisateur	Ceratina sp	Prédateur	Dictynidae sp	Prédateur	Icius hamatus
Pollinisateur	Tetralonia malvae	Prédateur	Setaphis carmeli	Prédateur	Tetragnatha intermedia
Pollinisateur	Dasytidae sp	Prédateur	Pardosa tenuipes	Prédateur	Clubiona sp
Phytophage	Pyrrhocoridae sp	Prédateur	Theridiidae sp1	Prédateur	Tetragnatha sp
Phytophage	Heteroptera sp	Prédateur	Cheiracanthium sp1	Prédateur	Araniella sp
Phytophage	Pentatomidae sp	Prédateur	Gnaphosidae sp	Prédateur	Nigma sp
Phytophage	Homoptera sp	Prédateur	Zodarion sp	Prédateur	Nuctenea umbratica
Phytophage	Coleoptera sp	Prédateur	Haplodrassus dalmatensis	Prédateur	Olios argelasius
Phytophage	Oxythyrea funesta	Prédateur	Erigonoplus turriger	Prédateur	Uloborus walckenaerius
Phytophage	Merodon equestris	Prédateur	Lycosidae sp	Prédateur	Cheiracanthium mildei
Phytophage	Isopoda sp	Prédateur	Zodarion elegans	Prédateur	Phylloneta impressa
Phytophage	Curculionidae sp	Prédateur	Pelecopsis inedita	Prédateur	Coccinelidae sp
Phytophage	Thripidae sp	Prédateur	Diplostyla concolor	Prédateur	Coccinella septempunctata
Phytophage	Orthoptera sp	Prédateur	Alopecosa albofasciata	Prédateur	Staphynilidae sp
Phytophage	Eumodicogryllus bordigalensis	Prédateur	Thomisidae sp	Prédateur	Dermaptera sp
Phytophage	Chenilles	Prédateur	Araneidae sp	Prédateur	Larve de Chrysopes
Phytophage	Escargots	Prédateur	Cheiracanthium sp	Prédateur	Chilopoda sp
Phytophage	Limaces	Prédateur	Theridiidae sp	Prédateur	Forficula auricularia
Prédateur	Phalangidae sp	Prédateur	Pisaura mirabilis	Inconnu	Geophilus sp
Prédateur	Phalangium opilio	Prédateur	Synema globosum	Détritivore	Dictyoptera sp
Prédateur	Microlestes sp	Prédateur	Runcinia grammica	Inconnu	Acariens
Prédateur	Diplocephalus graecus	Prédateur	Salticidae sp	Inconnu	Hymenoptera sp
Prédateur	Archaeodictyna consecuta	Prédateur	Tenuiphantes tenuis	Inconnu	Diptera sp
Prédateur	Linyphiidae sp	Prédateur	Heliophanus apiatus	Nécrophage	Formicidae sp
Prédateur	Pelecopsis bucephala	Prédateur	Icius crassipes	Saprophage	Collemboles
Prédateur	Styloctetor romanus	Prédateur	Pellenes brevis	Détritivore	Diplopoda sp
				Inconnu	Lepidoptera sp

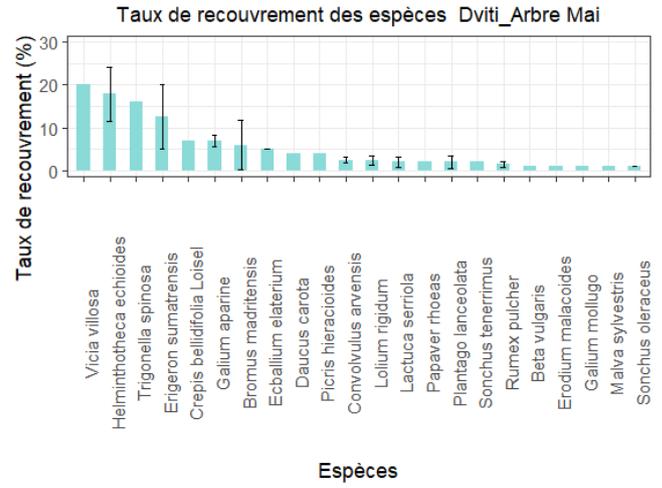
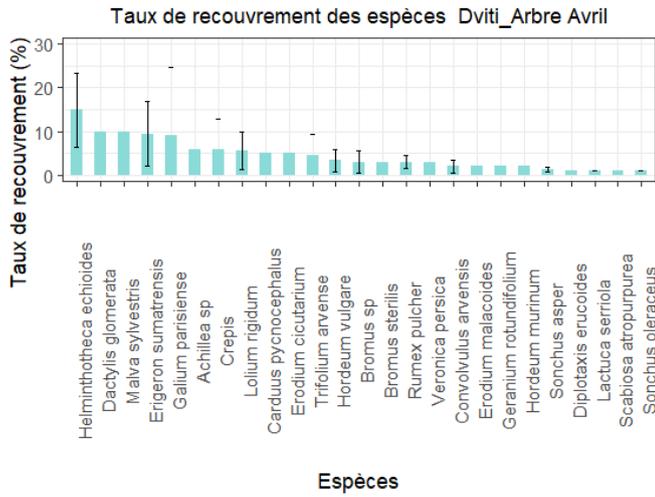
Annexe II : Moyenne des taux de recouvrement des espèces végétales identifiées dans le système Aviti à chaque date d'échantillonnage.



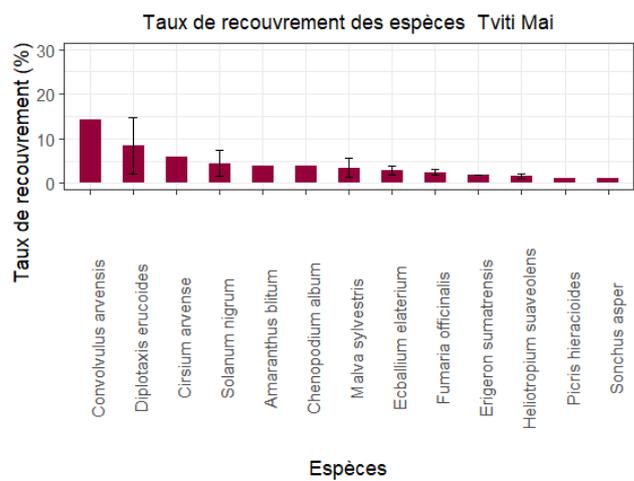
Annexe III : Moyenne des taux de recouvrement des espèces végétales identifiées dans le système Dviti-vigne à chaque date d'échantillonnage



Annexe IV : Moyenne des taux de recouvrement des espèces végétales identifiées dans le système Dviti-arbre à chaque date d'échantillonnage

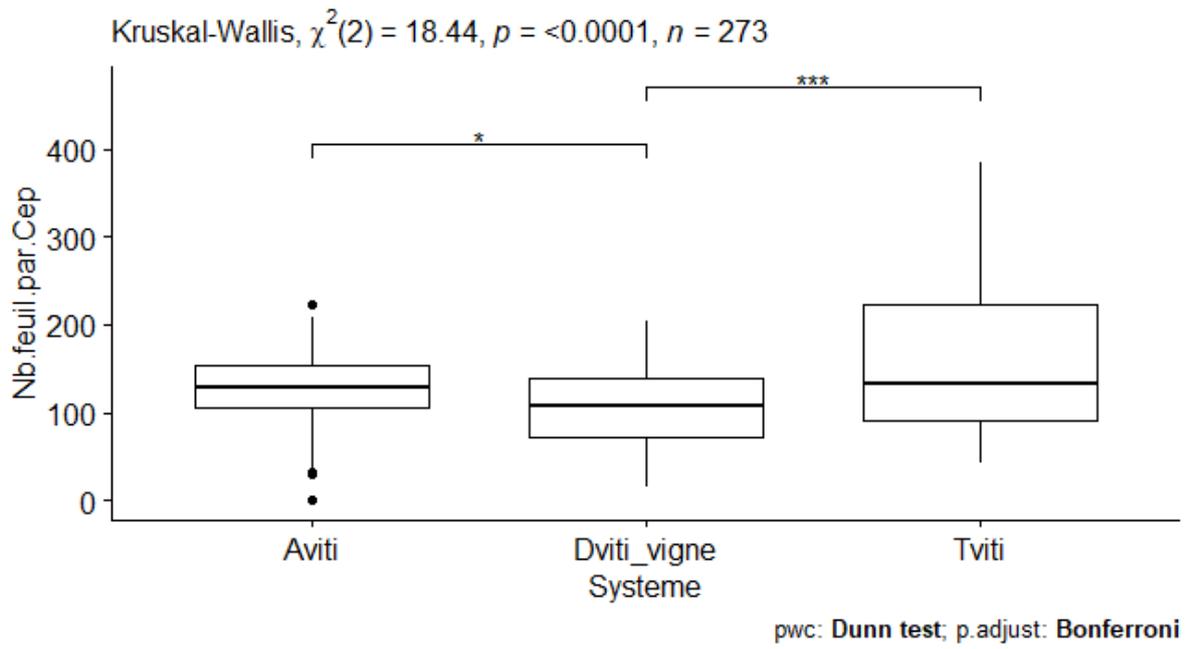


Annexe V : Moyenne des taux de recouvrement des espèces végétales identifiées dans le système Tviti pour le mois de Mai.



Annexe VII : Récapitulatifs des variables de la faune et de la flore en fonction des systèmes. Les signes montrent l'ordre des systèmes par rapport à la variable concernée, ils n'impliquent pas une différence significative.

	Aviti	Dviti	Dviti_vigne	Dviti_arbre	Tviti
Richesse spécifique couverts	++	++	++	-	--
Abondance couverts	++	++	++	-	--
Indice de Shannon	++	++	++	-	--
Richesse spécifique totale faune	++	-	++	--	-
Abondance totale faune	+	+	++	-	-
Richesse spécifique pollinisateurs	+	+	++	-	+
Abondance pollinisateurs	++	++	++	--	-
Richesse spécifique prédateurs	++	-	+	-	+
Abondance prédateurs	=	=	=	=	=
Richesse spécifique phytophages	=	=	=	=	=
Abondance phytophages	=	=	=	=	=
Richesse spécifique araignées	++	-	+	-	-
Abondance araignées	=	=	=	=	=
Richesse spécifique hyménoptères	=	=	=	=	=
Abondance hyménoptères	+	++	++	-	--
Richesse spécifique coléoptères	=	=	=	=	=
Abondance coléoptères	=	=	=	=	=
Richesse spécifique opilions	+	-	-	+	++
Abondance opilions	-	-	-	-	+



	Diplôme : Ingénieur en Horticulture Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : PPE-H Enseignant référent : Josiane Le Corff
Auteur(s) : Maïna BON Date de naissance* : 07/03/1999	Organisme d'accueil : UMR ABSys ; INRAe Adresse : 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier Cedex 2
Nb pages : 63 Annexe(s) :3	Maître de stage : Raphaël METRAL
Année de soutenance : 2022	
Titre français : Augmentation de la biodiversité au sein de vignes bas intrants. Quelles conséquences sur les régulations biologiques ?	
Titre anglais : Increasing biodiversity in low-input vineyards. What are the consequences on biological regulation?	
<p>La gestion intensive des vignobles implique une simplification des paysages, l'application de nombreux pesticides, et un travail du sol. Ces conduites sont préjudiciables pour la biodiversité et pour les services écosystémiques. Pourtant les vignobles pourraient être vecteur de biodiversité, en association avec des couverts diversifiés en inter-rangs, et avec de l'agroforesterie, favorisant les pollinisateurs ainsi que des ennemis naturels des ravageurs. Cette étude a testé l'effet de trois systèmes viticoles ayant un gradient de diversification végétale : le système Témoin (T-viti), a été géré de manière conventionnelle, notamment avec des inter-rangs travaillés. Le système A-viti avait des inter-rangs diversifiés, composés d'espèces semées (<i>Pisum sativum</i>, <i>Vicia faba</i>, <i>Onobrychis</i>, <i>Medicago sativa</i>) et d'espèces spontanées. Le système agroforestier D-viti, se composait de deux rangées de grenadiers et de figuiers associées aux vignes. La flore a été échantillonnée grâce à la méthode des quadrats et du parcours, sur trois dates (fin avril, fin mai, et fin juin). En parallèle, la faune a été échantillonnée grâce à des pièges coupelle, des pièges barber et des battages. La faune a été étudiée selon deux axes : taxonomique (hyménoptères, coléoptères, araignées, opilions) et fonctionnel (pollinisateurs, prédateurs, phytophages). Les couverts les plus diversifiés accueillent la faune la plus abondante et la plus diversifiée. Le compartiment agroforestier n'a pas montré la diversité végétale attendue, mais a favorisé la diversité d'ennemis naturels, sans présenter d'augmentation de leur abondance. L'abondance et la richesse spécifique de phytophages n'était pas supérieure dans les systèmes les plus diversifiés, présentant pourtant des ressources plus importantes. Cet effet pourrait être expliqué par une diversité de prédateurs plus importante, qui favoriserait des régulations naturelles. Cette étude a montré des dynamiques de populations en réponse au gradient de diversification. Pour étudier les éventuelles régulations naturelles qui en résultent, il serait intéressant d'étudier des traits floristiques pour comprendre plus précisément comment la diversité et l'abondance végétale impactent les dynamiques de populations des différents groupes.</p>	
<p>Intensive vineyard management involves landscape simplification, extensive pesticide application, and tillage. These practices are detrimental to biodiversity and ecosystem services. Yet vineyards could be a vector of biodiversity, in association with diversified inter-row covers, and with agroforestry, to promote pollinators as well as natural enemies of pests. This study tested the effects of three viticultural systems with a gradient of plant diversification: the Control system (T-viti), was managed conventionally, including tilled inter-rows. The A-viti system had diversified inter-rows, composed of sown species (<i>Pisum sativum</i>, <i>Vicia faba</i>, <i>Onobrychis</i>, <i>Medicago sativa</i>) and spontaneous species. The agroforestry system D-viti, consisted of two rows of pomegranate and fig trees associated with vines. The flora was sampled using quadrats and course method on three dates (late April, late May, and late June). In parallel, the fauna was sampled using cup traps, barber traps and threshing. The fauna was described as taxonomic groups (hymenoptera, beetles, spiders, opilions) and functional groups (pollinators, predators, phytophagous). The most diversified canopies hosted the most abundant and diverse fauna. The agroforestry compartment did not show the expected plant diversity, but favored the diversity of natural enemies, without showing an increase in their abundance. The abundance and species richness of phytophagous species was not higher in the most diverse systems, although they had greater resources. This effect could be explained by a higher diversity of predators, which would enhance natural regulations. This study showed population dynamics in response to the diversification gradient. To study the possible natural regulations that resulted from different managements, it would be interesting to study floristic traits to understand more precisely how plant diversity and abundance impact the population dynamics of the different groups.</p>	
Mots-clés : biodiversité, écologie, vignes, régulations naturelles, agroforesterie, diversification végétale Key Words: biodiversity, ecology, vineyards, natural regulation, agroforestry, plant diversification	