

2024-2025

MASTER AETPF

Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt

Parcours ECOSAFE

Evaluation de l'impact de la conduite culturale et des
infrastructures agroécologiques sur la biodiversité des vergers
de pommiers



Nicolas Marcou

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 03/09/2025

Tuteurs : Frédérique DIDELOT (Directrice adjointe) et Catherine BERNARD

Enseignant référent : Nadia Michel Université de Lorraine

Structure d'accueil : INRAe Unité Expérimentale Horticole-49070 BEAUCOUZE

Table des matières

Remerciements	5
A Introduction.....	7
B Etat de l'art	7
B.1 Présentation générale de la filière pomme.....	7
B.2 Caractéristiques générales des pommiers domestiques	8
B.3 Caractéristiques de la production de pommes	9
B.3.1 Itinéraire technique.....	9
B.3.2 Types de production.....	10
B.3.3 Traitements phytosanitaires	11
B.4 Rôle des différents arthropodes dans les vergers.....	11
B.4.1 Généralités	11
B.4.2 Présence de ravageurs	11
B.4.3 Présence d'auxiliaires.....	12
B.5 L'environnement paysager.....	13
B.6 Problématique et objectifs de l'étude.....	13
C Méthodologie de l'étude	14
C.1 Présentation des sites et des modalités.....	14
C.2 Protocole d'échantillonnage.....	15
C.2.1 Sur une parcelle de verger	15
C.2.2 Sur la parcelle sans verger.....	16
C.3 Protocoles d'expérimentation.....	17
C.3.1 Chronologie	17
C.3.2 Méthodes d'échantillonnage	17
C.3.2.1 Relevés floristiques	17
C.3.2.2 Relevés entomologiques	17
C.4 Relevés des éléments paysagers	19
C.5 Prise en compte des pratiques culturelles	20
C.6 Traitements de données	20
C.6.1 Création des bases de données.....	20
C.6.2 Analyses de données.....	21
C.6.2.1 Analyses statistiques	21
C.6.2.2 Modélisation avec Biosyscan.....	22
D Résultats et analyses	22
D.1 Diversité et dynamiques des communautés végétales	23
D.1.1 Existe-t-il des différences de composition floristique entre les parcelles de vergers ?.....	23

D.1.2 La proportion d'espèces au stade floraison varie-t-elle en fonction du temps d'une part et selon la parcelle d'autre part ?.....	23
D.2 Diversité et dynamique des arthropodes	25
D.2.1 Existe-t-il des différences de composition entomologique entre les parcelles de vergers et dans le temps ?.....	25
D.3 Corrélation entre les communautés végétales et animales	27
D.4 Corrélation entre les communautés entomologiques, le paysage et les pratiques agricoles	28
D.5 Comparaison des données observées avec les données prédites par le modèle Biosyscan..	29
D.5.1 Que faut-il retenir de nos observations sur le terrain ?	29
D.5.2 Est-ce que le modèle Biosyscan prédit avec justesse les données de biodiversité observées	30
E Discussions et conclusion	30
F Bibliographie	31
Table des tableaux.....	33
Table des figures.....	33
Table des annexes et annexes.....	33
Résumé	44
Abstract	44

Remerciements

Je voudrais remercier Frédérique DIDELOT et Catherine BERNARD de m'avoir encadré et conseillé pendant mon stage.

Je voudrais aussi remercier toute l'équipe de l'Unité Expérimentale Horticole pour leur accueil et leur gentillesse.

Je remercie aussi Christian Bockstaller et ses collègues de m'avoir permis d'utiliser le modèle BioSyScan.

Enfin je voudrais remercier l'ensemble des personnes de l'INRAe et du GIS fruits m'ayant permis de réaliser mon stage.

A Introduction

Depuis les années 1950, l'agriculture française a profondément évolué, notamment par l'intensification des pratiques agricoles (utilisation massive d'intrants chimiques, mécanisation) et la simplification des agrosystèmes (monocultures, suppression des haies). Ces transformations ont entraîné une perte importante de biodiversité, perturbé les équilibres écologiques et affaibli les services écosystémiques indispensables à la production agricole. Face à ce constat, il devient essentiel de repenser les systèmes agricoles en y intégrant davantage les mécanismes écologiques.

C'est dans cette dynamique que l'INRAe a lancé en 2020 le projet **CAP0PHYTO**, qui vise à réduire l'usage des produits phytosanitaires en mobilisant cinq leviers : la résistance génétique, les stimulateurs de défense des plantes, les UV-C, la gestion de la fertilisation azotée et l'intégration de plantes de service. Ce projet repose sur des expérimentations menées sur plusieurs cultures modèles, notamment le pommier. L'Institut de Recherche en Horticulture et Semences (IRHS), basé à Beaucouzé (49070), coordonne une grande partie de ces travaux.

Le présent rapport de stage s'inscrit dans le cadre de ce projet, et plus précisément dans l'étude du levier plantes de service, exploré comme solution agroécologique pour renforcer la résilience des vergers. Parmi les 2 études qui m'ont été confiées, j'ai choisi de présenter le suivi de la biodiversité des parcelles de vergers en relation avec l'itinéraire technique et le contexte paysager.

Ce rapport s'articule en 4 parties : l'étude de l'art, la méthodologie utilisée, les résultats et leurs analyses et la discussion accompagnée des perspectives.

B Etat de l'art

B.1 Présentation générale de la filière pomme

La consommation de pommes est importante en France et en Europe, en effet il s'agit du fruit le plus consommé par les Français (entre 2019 et 2022), la consommation moyenne par foyer en France s'élevait à 16 kg par an (ANPP, 2024 ; SIAL, 2024) devant celle de bananes et d'agrumes (bananes : 12 kg par an, oranges : 10 kg par an et clémentines : 8 kg par an) (SIAL, 2024).

Toutefois, la consommation totale de fruits semble diminuer ces dernières années, en raison de plusieurs facteurs tels que l'évolution des habitudes alimentaires et la hausse des prix. Dans ce contexte, la consommation par habitant de pommes pourrait être dépassée par celle des bananes, portée par l'essor des fruits exotiques et le recul des fruits produits sur le territoire métropolitain (FranceAgriMer, 2021 ; Réussir Fruits et Légumes, 2025).

En ce qui concerne la production, l'Union européenne dans son ensemble est le deuxième producteur de pommes derrière la Chine (environ 10,2 millions de tonnes produites en 2024 pour l'UE et 45 millions pour la Chine) (Tunisienumerique, 2024 ; ANPP, 2024 ; AtlasBig, 2025). Au sein de la production européenne, la France est le 3^e pays producteur avec environ 1,4 millions de tonnes en 2024 (ANPP, 2024), derrière la Pologne et l'Italie (AtlasBig, 2025).

Par ailleurs, on distingue la production de pommes de table (destinée directement à la consommation) et celle de pommes à cidre (destinées à la transformation). Ces deux types de productions sont les principales productions fruitières en France, en effet elles représentent plus de la moitié de la production française de fruits (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2020 ; Annexe 1). Cette production est cependant répartie de façon inégale sur le territoire avec une concentration dans certaines régions (Sud-Ouest, Sud-Est et Vallée de la Loire) (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2024 ; Planetoscope, 2022).

B.2 Caractéristiques générales des pommiers domestiques

La majorité des pommiers cultivés dans le monde appartient à l'espèce des pommiers domestiques (*Malus domestica*). Le pommier est un arbre fruitier de la famille des Rosaceae, du genre **Malus**. Les pommiers sont classés comme des arbres à pépins, et se distinguent par une grande diversité. En effet il existe de nombreuses variétés de pommiers, chacune ayant ses caractéristiques propres en ce qui concerne le fruit (couleur, fermeté, goût...), les conditions de culture (besoin en eau, résistance à certains bioagresseurs...) et les périodes de floraison et de récolte (variétés précoces et variétés tardives) (Fannelie, 2022).

En France, seulement une vingtaine de variétés sont cultivées à grande échelle et trois variétés représentent à elles seules plus de 50 % de la production : **Golden, Gala et Pink Lady** (ANPP, 2025). Ce manque de diversité variétale constitue un facteur pouvant expliquer la forte dépendance aux intrants chimiques. En effet ces 3 variétés sont considérées comme sensibles ou peu résistantes aux bioagresseurs (notamment aux champignons pathogènes tels que la tavelure ou l'oïdium). Néanmoins, l'agriculture biologique favorise la culture de variétés anciennes et rustiques (Grabowski *et al.*, 2014). En effet, certaines variétés cultivées telles que les variétés Ariane, Opale ou Story sont plus résistantes aux bioagresseurs (Arboriculteurs de Wiesviller). La sélection variétale et le choix de variétés adaptées sont un levier permettant de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires qui est étudié au sein de l'INRAe.

Malus domestica est un arbre à feuilles caduques, généralement de taille petite à moyenne. Les pommiers sauvages peuvent atteindre 10 à 15 mètres de hauteur, tandis que les pommiers cultivés sont généralement maintenus entre 2 et 5 mètres, en fonction du **porte-greffe utilisé** et de la **conduite** adoptée (taille, palissage...).

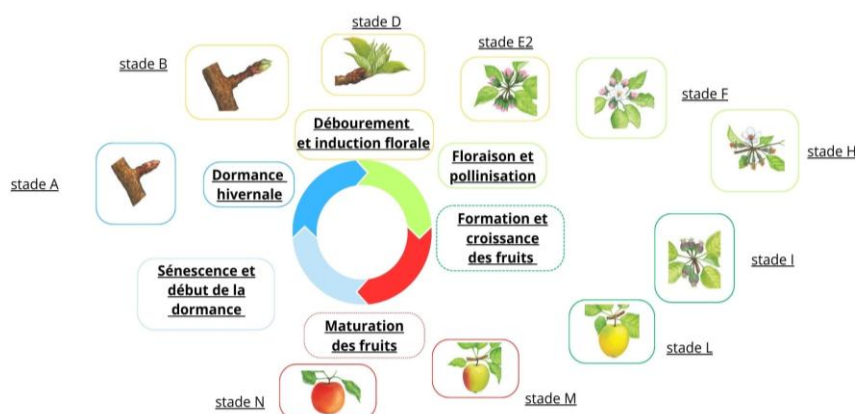


Figure 1 : Cycle de développement du pommier (Source : personnelle et lapomme.org)

Le cycle de développement du pommier se divise en plusieurs étapes (Figure 1), chacune correspondant à différents stades phénologiques :

- Le débourrement printanier : il se déroule des stades B à C3 (ouverture des bourgeons, apparition des premières feuilles) et précède l'induction florale, qui s'étend du stade D (début de la séparation des feuilles) au stade E2 (les fleurs forment des ballons roses caractéristiques).
- La floraison et la pollinisation : ces phénomènes s'étendent du stade F (début de l'ouverture des fleurs) au stade H (chute complète des pétales).
- La formation et la croissance des fruits : elle s'étend du stade I (nouaison : le fruit commence à se former) au stade L (le fruit atteint sa taille définitive). Ces étapes se déroulent au printemps et en été.
- La maturation des fruits (grossissement et enrichissement en sucre des fruits) : elle va du stade M (début de la maturation) au stade N (maturité optimale). Elle débute en été et se termine à la fin de l'été ou en automne.
- La sénescence et le retour à la dormance : cette phase survient en fin d'automne et correspond à la chute des feuilles.
- La dormance hivernale : elle correspond à l'arrêt de la croissance végétative. Les bourgeons sont alors au stade A, fermés et protégés par leurs écailles.
- Par ailleurs, il est important de noter que les bourgeons végétatifs (responsables de la croissance des rameaux) se développent du printemps jusqu'à l'automne.

B.3 Caractéristiques de la production de pommes

B.3.1 Itinéraire technique

L'itinéraire technique du pommier autrement dit l'ensemble des interventions ayant lieu dans le cadre de cette culture s'articule d'une part par rapport au cycle de développement détaillé précédemment et d'autre part autour de points de vigilance (protection contre les bioagresseurs, irrigation, taille, gel...). En effet les objectifs de production de pommes sont qualitatifs (fruits répondant aux critères de vente : calibre, couleur, non véreux...) et quantitatif (rendement suffisant pour être rentable).

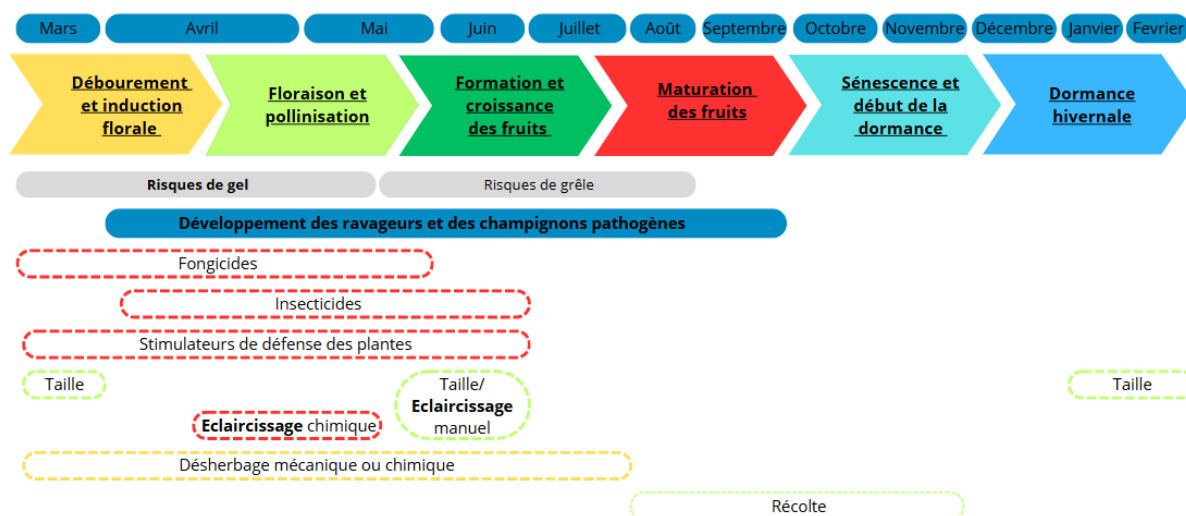


Figure 2 : Itinéraire technique simplifié du pommier

Source : (Chambre d'Agriculture de la Charente, 2024 ; Chambre d'Agriculture PACA, 2024)

Ainsi, en plus des interventions liées au développement du pommier : taille, éclaircissage (réduction du nombre de fleur/fruit), désherbage (pour empêcher la compétition), et récolte, cet itinéraire technique comporte de nombreuses interventions liées à des risques physiques (risque de gel et risque de grêle nécessitant des aménagements spécifiques tels que des filets et des bougies) et à des risques dus aux bioagresseurs.

Pour cette raison, de nombreuses interventions sont réalisées afin de palier le développement de ces ravageurs. Ainsi, de nombreux traitements fongicides, afin de lutter contre les différents champignons pathogènes et de nombreux traitements insecticides, contre les insectes ravageurs sont réalisés.

A ces 2 types de traitements chimiques se rajoutent aussi les Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) dont le mode d'action diffère mais dont le but est aussi de lutter contre ces bioagresseurs. Par ailleurs certains arboriculteurs procèdent à un désherbage chimique et l'éclaircissage chimique reste très utilisé en arboriculture.

B.3.2 Types de production

La production de pommes en France se répartit aujourd'hui selon trois grands modes de production, chacun correspondant à des approches spécifiques en matière de pratiques culturales, de qualité des fruits et de respect de l'environnement :

- **La production conventionnelle**, encore dominante, repose sur l'utilisation de méthodes agricoles classiques, incluant l'emploi d'intrants chimiques tels que les engrais minéraux et les produits phytosanitaires pour maximiser les rendements et assurer une qualité constante des fruits. En 2020, 65,3 % des exploitations spécialisées dans les fruits en France étaient engagées dans ce mode de production (Ministère de l'Agriculture, 2021).
- **La production biologique**, en progression continue, respecte un cahier des charges strict qui interdit l'usage de produits chimiques de synthèse au profit de pratiques culturales naturelles et durables. À cette même date (2020), 18,5 % des exploitations françaises spécialisées en fruits étaient certifiées en agriculture biologique (Ministère de l'Agriculture, 2021). Cependant, à cause de plusieurs facteurs économiques il semblerait que le nombre d'exploitations en conversion vers la production biologique soit en diminution en France depuis 2022, il est donc possible que l'on arrive à terme à une stagnation du pourcentage d'exploitations en agriculture biologique alors que ce type de production était en augmentation, FNAB, 2023.
- **La production fruitière intégrée (PFI)**, considérée comme un compromis entre production conventionnelle et production biologique, repose sur une gestion raisonnée des intrants chimiques. Elle privilégie la prévention et la limitation des traitements phytosanitaires, afin de produire des fruits de qualité tout en respectant davantage l'environnement. Le pourcentage exact d'exploitations concernées n'est pas connu (les exploitations restantes étant soit en PFI soit en conversion vers le bio, mais probablement autour des 20%), mais il s'agit d'un mode de production répandu en Europe et en Amérique du Nord (Réseau Pommier, 2020).

B.3.3 Traitements phytosanitaires

A cause de ces différents traitements phytosanitaires, la production de pommes, qu'elles soient issues de l'agriculture biologique, conventionnelle ou en production fruitière intégrée (PFI) est la culture fruitière présentant l'Indice de Fréquence de Traitements (IFT) le plus élevé (SSP - Agreste, 2018 ; Annexe 2).

L'IFT pour les vergers de pommes est plus faible en agriculture biologique (26,5 en 2018) qu'en production conventionnelle (37,6 en 2018). Les herbicides sont absents dans les systèmes bio, tandis que l'IFT fongicide est nettement plus bas en bio (17,7 contre 24,5 en 2018). Les traitements insecticides sont également légèrement moins fréquents en bio (8,3 contre 9, SSP - Agreste, 2018.).

B.4 Rôle des différents arthropodes dans les vergers

B.4.1 Généralités

Il existe de nombreuses espèces d'arthropodes dans les vergers. L'abondance et la présence de ces espèces dépendent de la zone géographique et des conditions climatiques. On se focalisera sur les espèces présentes dans les vergers de l'ouest de la France. En ce qui concerne le rôle des arthropodes, on distinguera les ravageurs (néfastes à la production) et les auxiliaires (bénéfiques à la production). Par ailleurs la pollinisation par des insectes (syrphes, hyménoptères, lépidoptères) a un effet bénéfique sur le rendement (Dib, H., Libourel, G., & Warlop, F. (2017).

B.4.2 Présence de ravageurs

Les nombreux traitements phytosanitaires en production de pomme ont pour but de lutter contre des bioagresseurs (tavelure, oïdium, chancre) et des ravageurs. Ces ravageurs ont comme caractéristiques de faire diminuer le rendement ou la qualité des fruits qui ne sont alors plus commercialisables. La principale période d'activité de ces ravageurs est le printemps et l'été, et correspond donc à la floraison, la feuillaison et la fructification du pommier (période critique pour la production).

Tableau 1 : Caractéristiques des ravageurs du pommiers, Source : personnelle et Ephytia

Puceron cendré (<i>Dysaphis plantaginea</i>)	Puceron vert (<i>Aphis pomi</i>)	Puceron lanigère (<i>Eriosoma lanigerum</i>)	Anthonome (<i>Anthonomus pomorum</i>)	Hoplocampe (<i>Hoplocampa testudinea</i>)	Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)
					

Les ravageurs nuisant à la quantité produite sont (ePhytia – INRAE, Tableau 1) :

- **Le puceron cendré** (Aphididae : *Dysaphis plantaginea*) est le ravageur le plus problématique en vergers de pommier, il est capable de faire diminuer fortement le rendement en cas de pullulation car il affaiblit la plante en piquant les feuilles et en réduisant ainsi la photosynthèse. Par ailleurs son cycle de développement est très rapide (plusieurs générations par an grâce à la reproduction asexuée). Les autres pucerons : le puceron vert du pommier (*Aphis pomi*) et le puceron lanigère du pommier (*Eriosoma lanigerum*) ont des caractéristiques similaires à celles du puceron cendré mais sont beaucoup moins présents en verger

- **L'anthonome** (Curculionidae : *Anthonomus pomorum*) diminue le rendement en pondant dans les bourgeons floraux, ce qui empêche la floraison.
- **L'hoplocampe** (Tenthredinidae : *Hoplocampa testudinea*) diminue le rendement en creusant des galeries dans les jeunes fruits, ce qui induit une chute prématurée de ceux-ci.

Les ravageurs nuisant à la qualité des fruits sont le carpocapse (Tortricidae : *Cydia pomonella* ; ePhytia – INRAE, Tableau 1) et d'autres tordeuses (papillons de nuit). Ceux-ci, au stade larvaire, creusent des galeries dans les pommes. Les fruits impactés sont donc véreux et impropres à la vente.

B.4.3 Présence d'auxiliaires

La régulation biologique des ravageurs se fait aussi naturellement en verger via des auxiliaires. On différencie les auxiliaires spécialistes (se nourrissant d'une ou quelques espèces) et les auxiliaires généralistes (se nourrissant d'un large spectre de proies). La régulation des ravageurs par les auxiliaires est efficace, néanmoins elle est souvent trop tardive (les dégâts sur le rendement ont déjà eu lieu).

Tableau 2 : Caractéristiques des auxiliaires spécialistes du pommier, Source : personnelle et Ephytia

Larve de syrphe (Syrphidae) Cible: pucerons	Larve de coccinelle (Coccinellidae) Cible: pucerons	Coccinelle adulte (Coccinellidae) Cible: pucerons	Larve de chrysope (Chrysopidae) Cible: pucerons	Hyménoptère parasitoïde (Hymenoptera) Cible: pucerons
				

En verger de pommiers, les auxiliaires spécialistes ont un impact positif sur la production grâce à leur prédation du puceron. Ainsi les principaux auxiliaires *spécialistes* sont (ePhytia – INRAE ; Villenave-Chasset, J) :

- **Les larves de syrphes** (Syrphidae) : environ 30 pucerons par jour par larve
- **Les larves et les coccinelles adultes** (Coccinellidae) : jusqu'à 100 pucerons par jour)
- **Les larves de chrysopes** (Chrysopidae) prédatent aussi au sein du foyer de puceron
- **Les hyménoptères parasitoïdes** (Hymenoptera) permettent aussi de réguler le nombre de pucerons. Leur mode d'action est particulier, ils pondent leurs œufs à l'intérieur du puceron, ce qui entraîne l'apparition de « momie ».

Tableau 3 : Caractéristiques des auxiliaires généralistes du pommier, Source : personnelle et Ephytia

Araignée (Araneae) Cible: pucerons	Forficule (Forficulidae) Cible: pucerons	Cantharide (Cantharidae) Cible: pucerons	Carabe (Carabidae) Cible: carpocapses	Staphylin (Staphylinidae) Cible: carpocapses	Punaise prédatrice (Nabidae, Anthoridae, Reduviidae) Cibles: pucerons et carpocapses
					

En verger de pommiers, les auxiliaires généralistes ont un impact positif sur la production (ePhytia – INRAE ; Villenave-Chasset, J) grâce à leur prédation :

- **Du puceron :**
 - Les araignées (Araneae) qui sont présentes dans les strates arborées, herbacées ou au sol, capturent un large éventail d'insectes, y compris les pucerons.
 - Les forficules (Forficulidae) plus connues sous le nom de Perce-oreille consomment de petits insectes nuisibles, notamment des pucerons.
 - Les cantharides (Cantharidae) prédatent un large éventail de proies y compris des pucerons
- **Du carpocapse :**
 - Les carabes (Carabidae) qui sont actifs principalement dans le milieu herbacé, prédatent les larves de carpocapse
 - Les staphylins (Staphylinidae) prédatent les larves de carpocapse
- **Du carpocapse et du puceron :**
 - Les punaises prédatrices (Nabidés, Anthocoridés, Reduviidés)

B.5 L'environnement paysager

L'environnement paysager d'un verger dépend de la composition et de la connectivité des éléments du paysage. Lorsque l'on s'intéresse à la composition paysagère, on distingue plusieurs éléments :

- **Les espaces cultivés** (surface de verger avoisinante ou autres cultures)
- **Les éléments semi-naturels (ESN)** : les haies, bosquets, bois, bandes enherbées, friches, mares, fossés ou zones humides sont des espaces non cultivés intégrés au paysage agricole. Lorsqu'ils sont implantés ou gérés dans un objectif agroécologique, ils peuvent également être qualifiés d'infrastructures agroécologiques. Plusieurs études ont mis en évidence leur effet bénéfique sur les populations d'auxiliaires et de pollinisateurs dans les vergers (Dib, H et al).
- **Les espaces artificialisés** (bâtiments, routes)

La connectivité entre ces éléments et notamment entre les ESN a aussi un impact important sur la biodiversité y compris sur les populations d'arthropodes (Dib, H et al).

B.6 Problématique et objectifs de l'étude

L'étude que j'ai menée entre mars et juillet 2025 s'inscrit dans le contexte agroécologique et le maintien de la biodiversité dans les vergers. Elle vise à mieux comprendre les effets des infrastructures agroécologiques et des pratiques culturales sur la biodiversité au sein des vergers de pommiers. Pour répondre à cette problématique, différents paramètres ont été pris en compte afin d'identifier les principaux leviers influençant la richesse spécifique et la composition des communautés biologiques.

Nous nous sommes notamment intéressés à l'impact des itinéraires techniques incluant les traitements phytosanitaires (Indice de Fréquence de Traitements), des pratiques d'enherbement ou encore de la présence d'éléments paysagers sur la diversité et l'abondance des invertébrés et des plantes. Le rôle des éléments semi-naturels, tels que les haies et les bandes fleuries ont été plus particulièrement étudiés.

Par ailleurs, nous avons cherché à évaluer dans quelle mesure la diversité botanique d'une parcelle influence la faune invertébrée, tant en termes d'abondance que de composition. En effet, la diversité végétale, façonnée à la fois par les pratiques agricoles et par le contexte paysager, détermine la disponibilité en ressources alimentaires, ce qui conditionne directement la présence d'invertébrés (Fried et al., 2019).

Enfin, un suivi spécifique a été mis en place autour d'une bande fleurie expérimentale, afin d'analyser si sa floraison et sa composition floristique favorisent la fréquentation des vergers par les auxiliaires et les ravageurs.

Ces différentes pistes de réflexion ont conduit à formuler plusieurs hypothèses de travail :

- **H1** : La biodiversité est plus élevée dans les parcelles soumises à un faible indice de fréquence de traitement (IFT).
- **H2** : La présence d'éléments semi-naturels favorise une biodiversité plus riche et diversifiée dans les parcelles.
- **H3** : La diversité botanique est liée positivement à la diversité entomologique.
- **H4** : La proportion d'espèces végétales au stade floraison est liée positivement à la proportion d'auxiliaires.

C'est dans cette perspective que la méthodologie suivante a été élaborée, afin d'évaluer la biodiversité dans différents contextes agricoles et paysagers.

C Méthodologie de l'étude

C.1 Présentation des sites et des modalités

L'étude a été menée sur deux sites de l'INRAE d'Angers) distants de 30 km : Bois l'Abbé (Angers 49000) et La Rétuzière (près de Champigné 49330) voir Annexe 3). Les observations ont été effectuées sur sept parcelles de vergers de pommiers, une parcelle de poiriers et une parcelle sans verger comportant une bande fleurie et une zone témoin (ray-grass italien implanté durant l'automne 2023).

Tableau 4 : Synthèse des caractéristiques des parcelles étudiées, Source : personnelle et Ephytia

Suivi effectué	8 parcelles								Bande fleurie
Groupe / Mode de conduite	PFI +		PFI				BIO		BandeF / Témoin
Parcelle	R17	PK	P5	P16	R14	P2	R12	R23	R01
Commune	Champigné	Angers			Champigné	Angers	Champigné		Champigné
Espèce	Pommier				Poirier	Pommier			
Variété	Multiples pour sélection variétale		Gala	Multiple	Williams Angelys	Golden	Chantecler	Arianne Reine des Reinettes	
Présence de haie	Absence de haie	En bordure	Absence de haie	Absence de haie	Absence de haie	En bordure et en intraparcellaire	Absence de haie	En bordure et en intraparcellaire (ecopâturage)	En bordure

Chaque parcelle de verger présente des caractéristiques uniques (Tableau 4) telles que le mode de conduite, les espèces et variétés, la présence de haies, le pâturage ovin (R23) ou la présence de haies intra-parcellaires (P2, R23).

Les parcelles ont été réparties en trois groupes de conduite :

- **Groupe PFI** (P2, P5, P16, R14) : conduite en production fruitière intégrée
- **Groupe PFI+** (R17, PK) : conduite en production fruitière intégrée avec traitements plus fréquents (programme de sélection variétale)
- **Groupe BIO** (R12, R23) : conduite en agriculture biologique

Les parcelles se distinguent par la présence et la localisation des haies :

- **Groupe sans haies autour et à l'intérieur de la parcelle** (P5, P16, R14, R17)
- **Groupe avec au moins une haie autour de la parcelle** (PK)
- **Groupe avec haies autour et à l'intérieur de la parcelle** (P2, R23)
- **Parcelle sans verger avec une haie sur la plus grande longueur** (R01)

C.2 Protocole d'échantillonnage

Afin de prendre en compte les effets de bordures, les relevés sont répartis en diagonale sur l'ensemble des parcelles.

C.2.1 Sur une parcelle de verger



Figure 3 : Répartition d'échantillonnage sur une parcelle de verger (exemple de la PK)

Pour l'ensemble des parcelles de vergers, 5 relevés sont effectués en diagonale sur la parcelle.

C.2.2 Sur la parcelle sans verger



Figure 4 : Répartition d'échantillonnage sur la parcelle sans verger (R01)

La parcelle sans verger (R01) est découpée en 2 micro-parcelles dans sa longueur (environ 100 m par 20 m pour les 2 micro-parcelles). :

- Une micro-parcelle bande fleurie, sur laquelle un mélange (alysse, phacélie, féverole, fenouil, achillée millefeuille, bleuet, carotte sauvage, bourrache, pimprenelle) a été implanté à l'automne 2023 puis broyé à l'automne 2024.
- Une micro-parcelle zone témoin, sur laquelle du ray-grass italien a été implanté à l'automne 2023 puis broyé à l'automne 2024.

Sur chaque micro-parcelle, 10 points d'échantillonnage ont été placés en diagonale (5 pour les observations floristiques et entomologiques et 5 uniquement pour les observations floristiques).

C.2.3 Strates explorées

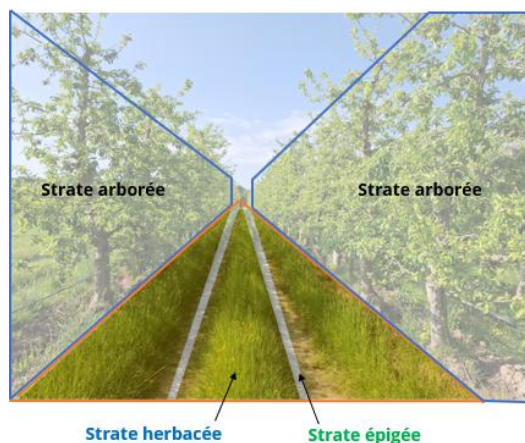


Figure 5 : Représentation des espaces considérés dans un verger de pommier

Au sein des parcelles, trois espaces sont considérés : la strate arbustive (le rang de pommiers/poiriers), la strate herbacée (inter-rang et sous le rang) et la strate épigée (à la surface du sol).

C.3 Protocoles d'expérimentation

Les méthodes utilisées sont inspirées des préconisations de L'Observatoire Agricole de la Biodiversité, d'Arvalis et de la revue Passion entomologie (Gilles B., 2014, ARVALIS – Institut du végétal, 2018).

Tableau 5 : Techniques d'échantillonnage utilisées par strate

Strate	Epigée		Herbacée		Arborée	
Type de relevé	Botanique	Entomologique				
Précision	Espèce	Ordre/Famille				
Relevé	Quadrat 1m²	Piège barber	Fréquentation	Filet fauchoir	Parapluie japonais	Observation visuelle
Comparaison des parcelles	5 relevés	5 relevés		5 relevés	5 relevés	5 relevés
Suivi de la bande fleurie	10 relevés	5 relevés	5 relevés	5 relevés		

C.3.1 Chronologie

Les relevés floristiques ont été effectués du 27 mars au 11 juillet, avec un intervalle de 2 à 3 semaines entre chaque relevé.

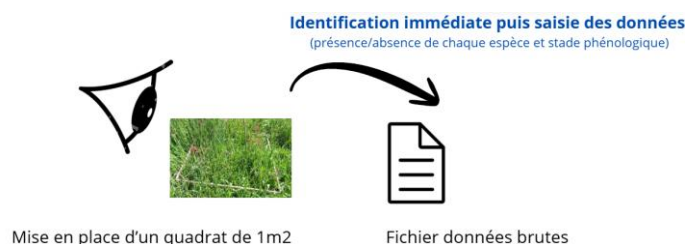
Les relevés entomologiques ont été effectués :

- Pour l'entomofaune épigée du 9 avril au 11 juillet, avec un intervalle de 1 semaine entre chaque relevé.
- Pour l'entomofaune herbacée et arborée du 16 avril au 11 juillet, avec un intervalle de 2 à 3 semaines entre chaque relevé, selon les conditions météorologiques et les traitements en cours

C.3.2 Méthodes d'échantillonnage

C.3.2.1 Relevés floristiques

Figure 6 : Protocole des relevés botaniques



Les relevés floristiques ont été effectués dans des quadrats de 1m². L'identification a été précisée jusqu'à l'espèce grâce à plusieurs ouvrages (Fitter et al., 2014 ; Chevalier et al.).

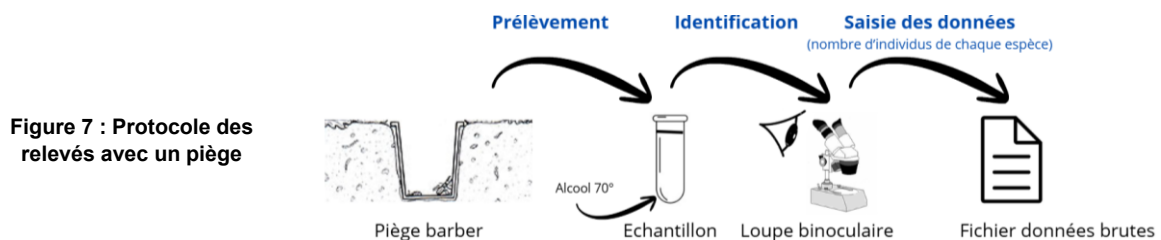
C.3.2.2 Relevés entomologiques

L'identification a été précisée jusqu'à la famille pour les insectes et les araignées grâce à plusieurs ouvrages (Chinery, 1976 ; CTIFL, 2001 ; Waligora, 2021). Pour affiner l'analyse, certaines espèces d'invertébrés ont été ciblées et classées selon leur fonction écologique. Quatre groupes ont été définis :

- **Prédateurs généralistes** : araignées, opilions, carabes, punaises prédatrices et perce-oreilles,
- **Prédateurs spécialistes** : coccinelles (adultes et larves), syrphes (adultes et larves), chrysopes (adultes et larves) et hyménoptères parasitoïdes
- **Ravageurs** : charançons et différents types de pucerons (vert, cendré, lanigère),
- **Protecteurs de ravageurs** : fourmis (espèces actuellement étudiées à l'INRAE pour leur rôle dans la présence de pucerons).

Afin d'échantillonner les 3 strates, 4 types de relevés sont mis en place.

Strate épigée

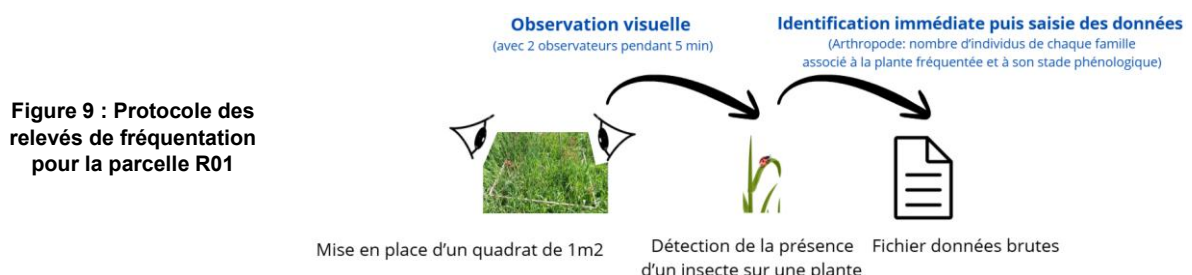


L'échantillonnage de la faune épigée est réalisé à l'aide de pièges Barber, constitués de pots en plastique enterrés dont le bord coïncide avec la surface du sol. Le contenu de ces pièges est récupéré puis conservé dans des flacons remplis d'alcool. Les échantillons sont ensuite identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire. Enfin, les espèces recensées ainsi que le nombre d'individus sont consignés dans un fichier de données.

Strate herbacée



Pour les parcelles de verger ainsi que pour la parcelle sans verger, l'échantillonnage de la faune herbacée est réalisé à l'aide d'un filet fauchoir, en effectuant des passages en forme de « 8 » sur la zone étudiée. Dans les parcelles de relevé, il s'agit de la végétation herbacée située soit dans l'inter-rang, soit sous les rangs de pommiers ; dans la parcelle R01, l'ensemble de la zone herbacée est pris en compte sans distinction. Le contenu du filet est ensuite immédiatement identifié à l'œil nu. Enfin, les espèces observées ainsi que le nombre d'individus sont consignés dans un fichier de données.



Pour la parcelle sans verger, l'échantillonnage de la faune herbacée inclut une observation directe de la fréquentation des plantes par les arthropodes. Les observations sont réalisées dans un quadrat de 1 m², pendant 5 minutes, par deux observateurs. L'objectif est de détecter la présence d'arthropodes sur les plantes. En cas de détection, l'arthropode ainsi que la plante-hôte sont immédiatement identifiés. Les informations collectées (espèces observées (arthropode et plante), nombre d'individus, et stade phénologique) sont ensuite consignées dans un fichier de données.

Strate arborée



Pour les parcelles de verger, l'échantillonnage de la faune arborée est réalisé à l'aide d'un parapluie japonais, en effectuant des passages en battant les branches des arbres des 2 rangs autour de la zone étudiée. Le contenu du parapluie est ensuite immédiatement identifié à l'œil nu. Enfin, les espèces observées ainsi que le nombre d'individus sont consignés dans un fichier de données.



Pour les parcelles de verger, l'échantillonnage de la faune arborée est aussi réalisé à l'aide d'une observation visuelle des arbres des 2 rangs autour de la zone étudiée. Les espèces observées sont immédiatement identifiées. Enfin, les espèces ainsi que le nombre d'individus sont consignés dans un fichier de données.

C.4 Relevés des éléments paysagers

La composition paysagère autour de chaque parcelle a été modélisée à l'aide du logiciel QGIS 3.42, en s'appuyant sur une carte Google Maps en projection EPSG : 2154 / Lambert-93.



Figure 12 : Répartition des différents éléments paysagers dans un rayon de 150 m autour de la P2

Un rayon de 150 mètres autour du centre de chaque parcelle a été défini. Cette distance a été choisie entre plusieurs valeurs lors d'une étude précédente. L'indicateur utilisé est le pourcentage de surfaces semi-naturelles (ESN) présentes dans cette zone. Ce pourcentage est calculé en divisant la somme des surfaces des éléments naturels (haies, cultures, forêt...) par la surface du cercle. Dans ce calcul on considère que les parcelles de verger ne sont pas des éléments semi-naturels (voir la classification en Annexe 4).

C.5 Prise en compte des pratiques culturelles

Tableau 6 : Extrait de la base de données des interventions phytosanitaires relatives à la parcelle R23

mal/rav	espèces	Produit	dose hl	parcelles	dates trnt	nb jours récolte	dates rentrée	vol ha	dose ha	ift	produit BIO
puceron	pommier	polithiol50	6,25	R23	04-mars	verifier BBCH	6-mars	800	50	1,28	BIO
tavelure	pommier	BB Macc 80 1,5	0,38	R23	21-mars	148	6 H	400	1,5	0,08	BIO
puceron	pommier	sokalciarbo wp 30	3,75	R23	26-mars	143	6 H	800	30	1,28	BIO

Les données liées à la fertilisation et aux traitements phytosanitaires ont été collectées pour chaque parcelle à partir des itinéraires techniques, extraits du serveur de l'unité horticole expérimentale. Ces indicateurs permettent d'évaluer les pratiques culturelles mises en œuvre sur chaque parcelle pendant l'année 2025 avec extrapolation des interventions prévues en fin d'année.

C.6 Traitements de données

C.6.1 Création des bases de données

Tableau 7 : Exemple partiel de passage de données brutes aux données transformées

Transformation

Codesp	PK_1_A	PK_2_A	PK_3_A	PK_4_A	PK_5_A
Ann_Cli_Hap_Versdeterre					
Art_Ara_Acarien					
Art_Ara_Araignee					

Site	Date	Modalite	Repetition	TypePiege	%_Protecteur	%_Ravageur	%_PredateurG	%_PredateurS
Abbe	24-avr	PK	1	Barber	50	0	50	0
Abbe	24-avr	PK	2	Barber	100	0	0	0
Abbe	24-avr	PK	3	Barber	100	0	0	0
Abbe	24-avr	PK	4	Barber	100	0	0	0
Abbe	24-avr	PK	5	Barber	100	0	0	0

Données brutes

Données transformées

Données brutes

Données transformées

À partir des fichiers de données brutes issues des différents relevés, deux bases de données distinctes ont été constituées : l'une pour le suivi des parcelles, l'autre pour le suivi de la bande fleurie. Chaque échantillon de chaque relevé a été intégré dans ces bases de données en fonction des indicateurs retenus (Annexe 4).

Les indicateurs floristiques sont :

- Les pourcentages de chaque stade phénologique à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné
- Les pourcentages de chaque famille floristique à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné
- L'indice de Shannon calculé à partir de l'abondance pour les espèces végétales floristiques à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné (Annexe 5)
- La richesse spécifique à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné (qui correspond au nombre total d'espèces présentes)

Les indicateurs entomologiques sont :

- Les pourcentages de chaque groupe fonctionnel à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné pour chaque méthode de piégeage
- L'indice de Shannon calculé à partir de l'abondance pour les espèces d'arthropodes à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné pour chaque méthode de piégeage (Annexe 5)
- Les pourcentages de chaque famille d'arthropode à une date donnée et à un point d'échantillonnage donné pour chaque méthode de piégeage

L'indicateur du paysage est le pourcentage d'éléments semi-naturels (% ESN) correspond au rapport de la somme des surfaces des éléments semi-naturels sur l'ensemble des éléments paysagers (Annexe 4).

C.6.2 Analyses de données

C.6.2.1 Analyses statistiques

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel **RStudio** (R 4.5.0). En plus des graphiques, différents tests sont effectués :

- L'ACP (Analyse en Composantes Principales) pour visualiser les points d'échantillonnage en plusieurs dimensions
- Le test de student ou le test de wilcoxon (selon la normalité des données) pour comparer les 2 micro-parcelles de la parcelle R01
- L'ANOVA (analyse de variance) à 1, 2 ou 3 facteurs pour les variables quantitatives avec distribution paramétrique
- Le test du χ^2 pour analyser les relations entre variables qualitatives (par exemple, pour tester l'indépendance entre la localisation des échantillons et une classification donnée)

C.6.2.2 Modélisation avec Biosyscan

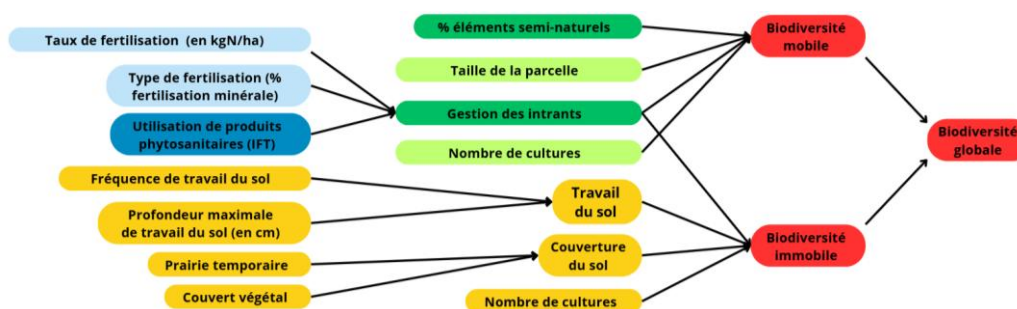


Figure 13 : Logique et paramètres pris en compte par le modèle biosyscan (planet-score-admin. 2023)

Pour le suivi comparatif des parcelles, une modélisation a été réalisée à l'aide du modèle **Biosyscan**, développé par l'INRAE et l'ITAB, (Bastien Dallaporta , Sabine Bonnot et Christian Bockstaller) pour tenter de prédire la biodiversité en s'appuyant sur neuf paramètres issus de l'itinéraire technique et du contexte paysager de chaque parcelle (le taux de fertilisation en kg N/ha, le type de fertilisation, l'IFT, la fréquence de travail du sol, la profondeur maximale de travail du sol (en cm), la durée du couvert dans l'inter-rang (en mois), la part de la surface couverte de l'inter-rang, la diversité floristique de la couverture de l'inter-rang , le pourcentage d'Eléments Semi-Naturels dans la parcelle).

Ce modèle attribue une note de "biodiversité globale" (de 0 à 100) qui se décompose en 2 entités : la biodiversité mobile et la biodiversité immobile. L'objectif est de comparer le gradient de biodiversité entre parcelles calculé à partir des relevés de terrain (indices de Shannon, richesse spécifique, pourcentages de chaque groupe fonctionnel) à celui généré par le modèle Biosyscan.

D Résultats et analyses

Dans un premier temps on s'intéressera aux dynamiques de la végétation herbacée puis à celles des arthropodes. Dans un second temps on s'intéressera aux relations entre les communautés d'une part et entre les communautés et les paramètres culturels et paysagers d'autre part. Enfin nous nous intéresserons à la prédiction de la biodiversité grâce au modèle Biosyscan.

D.1 Diversité et dynamiques des communautés végétales

D.1.1 Existe-t-il des différences de composition floristique entre les parcelles de vergers ?

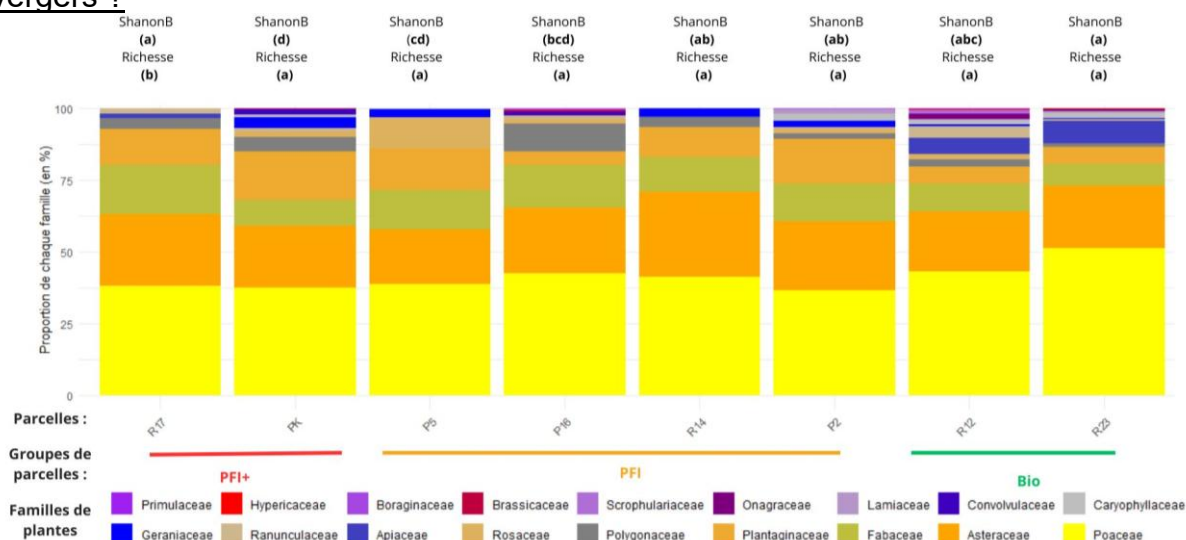


Figure 14 : Composition floristique des parcelles de vergers étudiés sur l'année 2025

Les familles dominantes (Figure 14) sont pour toutes les parcelles, par ordre décroissant : les Poacées, les Astéracées et les Fabacées (Annexe 6). Néanmoins certaines parcelles semblent présenter davantage de familles botaniques (PK et R12).

Les ANOVA à 1 facteur (parcelle) ont montré une différence globale hautement significative de richesse spécifique d'une part et d'indice de Shannon d'autre part. Les tests de Tukey ont montré que :

- La richesse spécifique de la parcelle R17 est inférieure à celles des autres parcelles
- L'indice de Shannon (diversité spécifique et abondance) de la R17 et celui de la R23 sont supérieurs à ceux des autres parcelles alors que celui de la PK est inférieur.

D.1.2 La proportion d'espèces au stade floraison varie-t-elle en fonction du temps d'une part et selon la parcelle d'autre part ?

L'histogramme ci-dessous (Figure 15) montre la proportion de chacun des 3 stades phénologiques (végétatif, en floraison, en fruit/graine) en fonction du temps et en fonction de la parcelle. Sur les 2 premières dates (avril et mai) le stade végétatif est majoritaire, suivi par le stade floraison. A partir de mai le stade fruit/graine est présent et sa proportion progresse au cours du temps. Inversement la proportion de plantes au stade végétatif diminue jusqu'en juin pour réaugmenter en juillet.

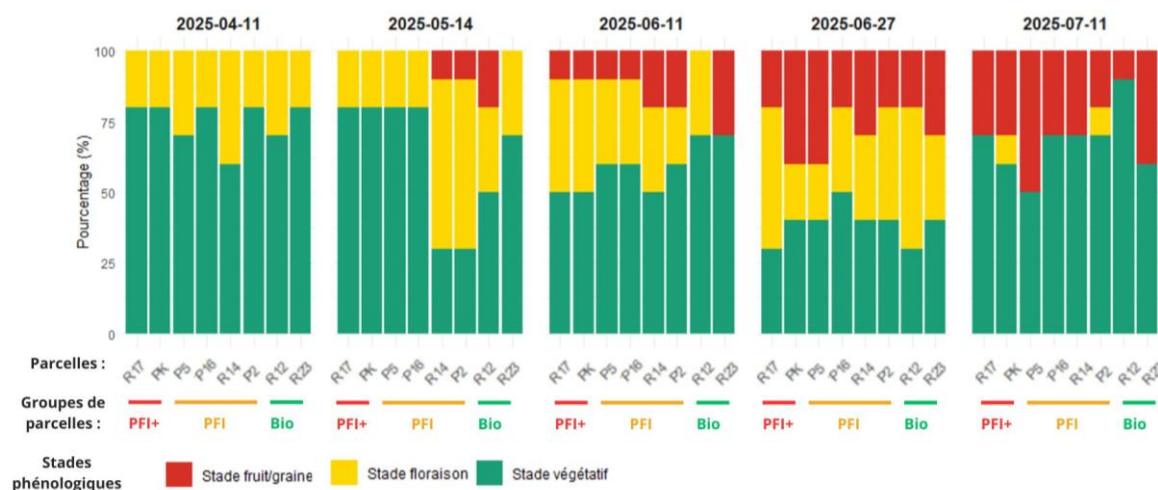


Figure 15 : Chronologie des stades phénologiques dans les 8 parcelles de vergers (5 relevés avec 5 répétitions)

L'ANOVA globale à deux facteurs confirme qu'il existe une différence globale de stade phénologique moyen très significative entre les parcelles, hautement significative entre les dates et hautement significative pour l'interaction parcelle-date. (Annexe 7).

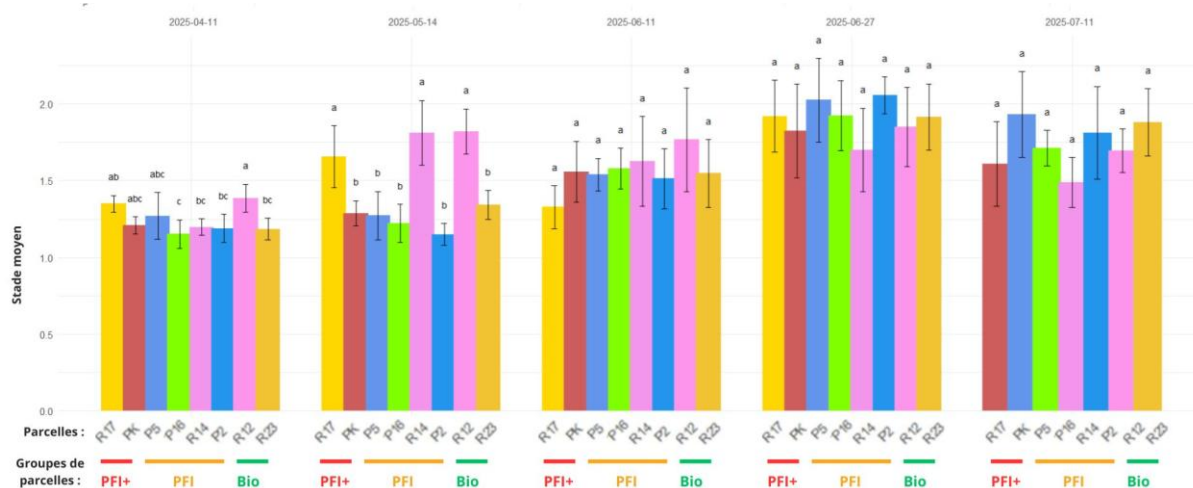


Figure 16 : Evolution du stade phénologique moyen selon les parcelles de verger en fonction du temps
(Végétatif :1 ; Floraison :2 ; Fruit/Graine :3)

La différence significative de stade phénologique moyen est uniquement présente durant les mois d'avril et de mai. En avril, le stade moyen est plus avancé pour la parcelle R12 et moins avancé pour la parcelle P16 par rapport aux autres parcelles. En mai, le stade moyen des parcelles R12, R14 et R17 est plus avancé que celui des autres parcelles (Figure 16).

On peut faire l'hypothèse que le retard de floraison de la P16 en avril s'expliquerait par le passage d'un broyeur qui a relancé un nouveau cycle végétatif des espèces pérennes. Par ailleurs, la nature des sols et le microclimat peuvent expliquer les différences de stades phénologiques entre les 2 sites de Champigné et Angers. De plus le pâturage ovin qui maintient la végétation herbacée au stade végétatif pourrait expliquer le décalage phénologique de la parcelle R23.

D.2 Diversité et dynamique des arthropodes

D.2.1 Existe-t-il des différences de composition entomologique entre les parcelles de vergers et dans le temps ?

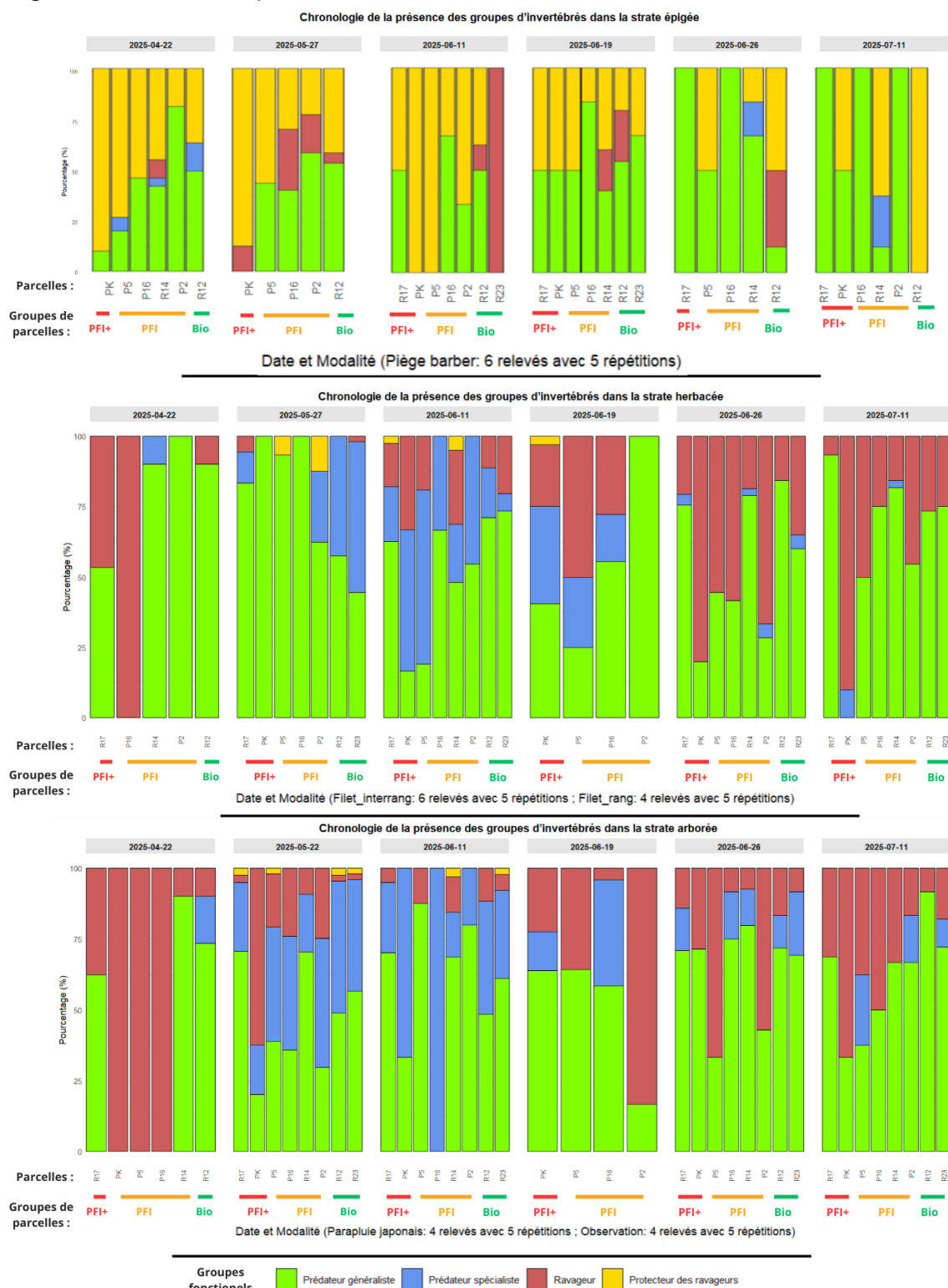


Figure 17 : Chronologie de la présence des groupes d'invertébrés par strate et selon les groupes fonctionnels et les parcelles

L'identification des arthropodes a été réalisée jusqu'à la famille (Annexe 8) mais nous allons présenter les résultats organisés selon les groupes fonctionnels : les

ravageurs, les protecteurs des ravageurs, les prédateurs généralistes et les prédateurs spécialistes et selon les strates : épigée, herbacée, arborée.

La Figure 17 nous montre que la strate épigée se distingue des 2 autres strates par la présence plus importante de protecteurs de ravageurs (fourmis protégeant les pucerons) et par une quasi absence des prédateurs spécialistes.

Pour les 2 autres strates, herbacée et arborée (Figure 17), la répartition entre groupes fonctionnels semble similaire : un premier pic de ravageurs apparaît début avril et un second pic en juin. Les prédateurs spécialistes apparaissent en mai et se maintiennent jusqu'à fin juin. Les prédateurs généralistes sont présents sur toute la période de l'étude.

Pour connaître le lien entre les taxons d'arthropodes composant les groupes fonctionnels et les dates, un test du Chi² est mené. Le lien entre les taxons et les parcelles est hautement significatif (Annexe 9).

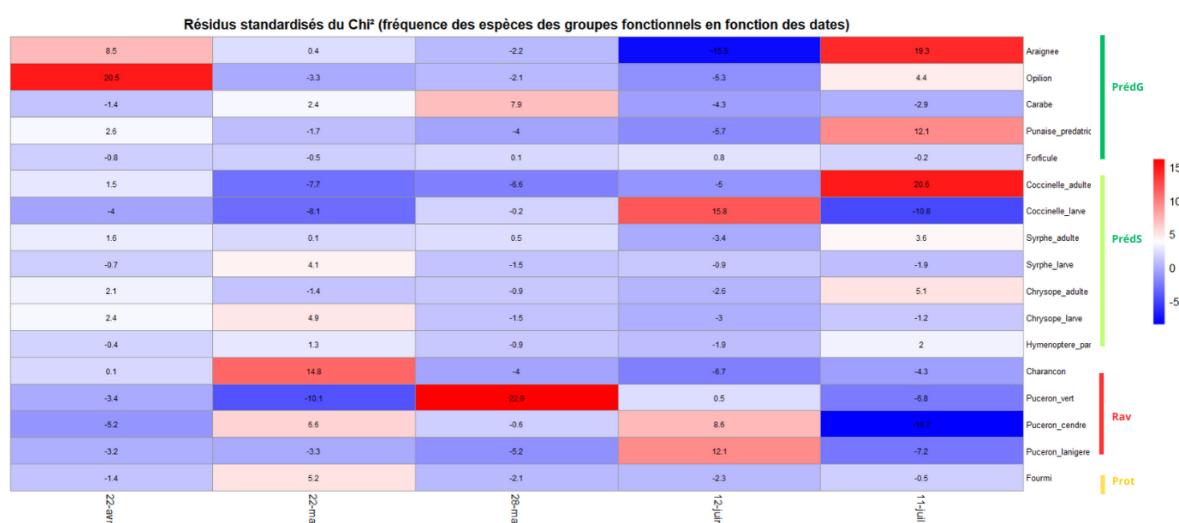


Figure 18 : Matrice des résidus standardisés issus du chi² entre les taxons composants les groupes fonctionnels et les dates (corrélation positive en rouge et négative en bleu)

La matrice de corrélation (Figure 18) montre une forte saisonnalité.

- En avril : les prédateurs généralistes (araignées et opilions) sont sur-représentés, tandis que les ravageurs sont sous-représentés
- Début mai : les prédateurs sont sous-représentés tandis les ravageurs (charançons et pucerons cendrés) prolifèrent
- Fin mai : les prédateurs représentés principalement par les carabes sont très présents ainsi que les ravageurs, représentés par le puceron vert.
- En juin : les larves de coccinelles et les pucerons (cendrés et lanigères) sont très présents
- En juillet : les prédateurs généralistes et spécialisés sont fortement présents alors que les ravageurs sont sous-représentés.

Il existe un décalage de présence entre ravageurs et prédateurs d'un mois et demi avec une arrivée trop tardive des prédateurs, sans doute expliquée par des conditions météorologiques printanières défavorables (Annexe 10).

Pour connaître le lien éventuel entre les taxons d'arthropodes composant les groupes fonctionnels et les parcelles, un test du Chi² est mené. Le lien entre les taxons et les parcelles est hautement significatif (Annexe 9).

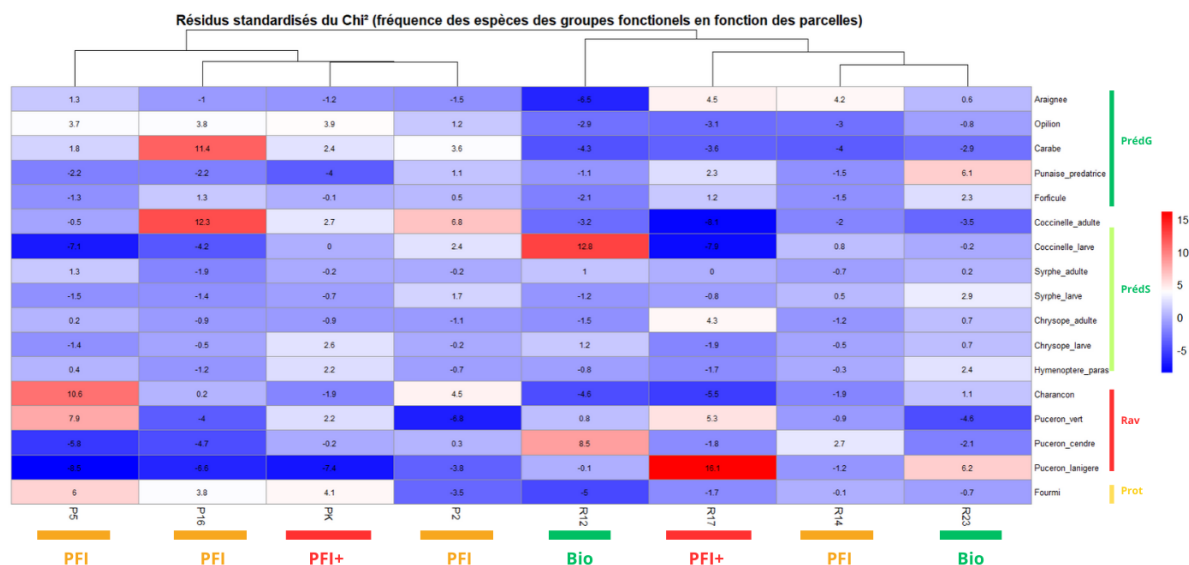


Figure 19 : Matrice des résidus standardisés issus du chi² entre les taxons composants les groupes fonctionnels et les parcelles (corrélation positive en rouge et négative en bleu)

La matrice de corrélation réalisée (Figure 19) montre des différences entre les parcelles selon les taxons des groupes fonctionnels :

- **Prédateurs généralistes** : les carabes sont sur-représentés en P16 et moins représentés sur les parcelles du site de Champigné ; les punaises prédatrices sont sur-représentées en R23 et moins représentées en PK
- **Prédateurs spécialistes** : les coccinelles adultes sont sur-représentées en P6 et en P2 et sous représentées en R17, les larves de coccinelles sont sur-représentées en P2 et moins présentes en R17 et en P5.
- **Ravageurs** : les charançons sont sur-représentés en P5 et moins présents en R12 et R17, le puceron vert est sur-représenté en P5 et moins présent en P16, P2 et R23 ; le puceron cendré est sur-représenté en R12 et moins présent en P5 et P16 ; le puceron lanigère est sur-représenté en R17 et R23 et moins représenté sur les parcelles d'Angers.
- **Protecteur des ravageurs** : les fourmis sont sur-représentées en P5 et moins présentes en P2 et R12.

D.3 Corrélation entre les communautés végétales et animales

Afin d'analyser les relations entre les familles de plantes et les arthropodes, une matrice de corrélation a été réalisée (Figure 20), qui met en évidence 2 associations :

- Le groupe végétal composé des Asteraceae, des Caryophyllaceae et des Ranunculaceae est positivement corrélé à la présence de prédateurs spécialistes (coccinelles et larves de chrysopes) et du ravageur (puceron cendré).
- Le groupe végétal composé des Fabaceae, des Poaceae et des Plantaginaceae est positivement corrélé à la présence de prédateurs spécialistes (chrysopes adultes) et de ravageurs (charançons).

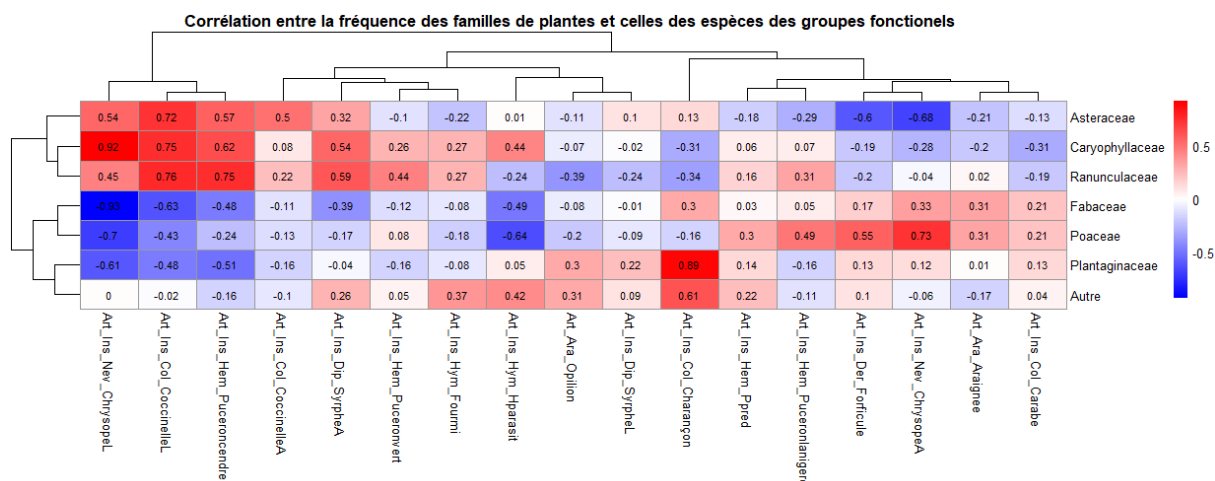


Figure 20 : Matrice de corrélation entre les taxons composant les groupes fonctionnels et les familles de plantes

Ces résultats suggèrent que la composition floristique d'une parcelle influence directement la structure des communautés d'arthropodes. En effet des études ont montré que certaines familles de plantes sont attractives ou répulsives envers les arthropodes.

D.4 Corrélation entre les communautés entomologiques, le paysage et les pratiques agricoles

Afin d'avoir une vision globale de l'étude, nous réalisons une ACP en prenant en compte l'ensemble des variables étudiées (Figure 21, Annexe 11). Les axes 1 et 2 expliquent 37,4 % de la variation entre les différents relevés, ce qui montre que certains paramètres n'ont pas été pris en compte tels que les facteurs climatiques et les interventions agricoles autres que celles phytosanitaires.

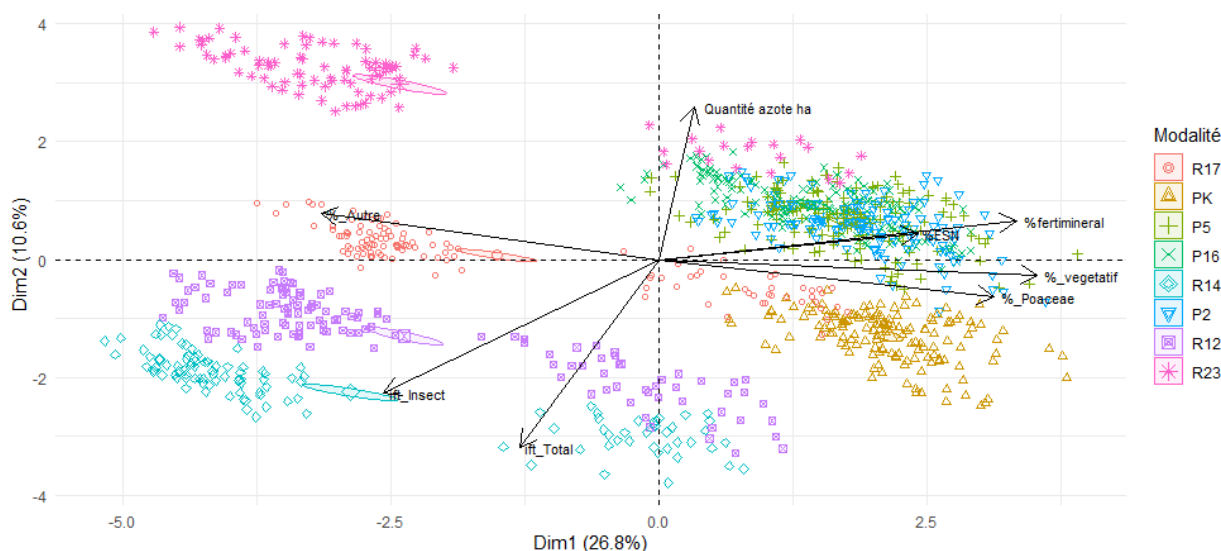


Figure 21 : Projection en ACP de l'ensemble des points d'échantillonnage dans les parcelles de verger en 2025 (un symbole par parcelle) avec les principales variables explicatives

Sur cette projection, on observe 3 nuages distincts (Figure 21) :

- Un nuage avec les 4 parcelles du site d'Angers (à droite de l'axe 2)
- Un nuage comprenant la R12, la R14 et la R17 (à droite de l'axe 2 et en haut de l'axe 1)
- Un nuage comprenant la R23 (en haut de l'axe 1, à gauche de l'axe 2)

Les contributions des variables aux axes 1 et 2 de l'ACP permettent d'interpréter la formation de ces groupes :

- **Le nuage «PK, P2, P5, P16 »** (site d'Angers) est expliqué par 4 variables (corrélées positivement à l'axe 1) : le pourcentage de plantes au stade végétatif, la proportion moyenne annuelle de Poacées, le pourcentage de fertilisation minérale et le pourcentage d'éléments semi-naturels : cela s'explique par le fait que ces parcelles, qui sont toutes situées sur le site d'Angers, sont fauchées plus régulièrement que celles du site de Champigné, ce qui maintient les plantes au stade végétatif. Par ailleurs, on observe une proportion de Poacées plus importante sur le site d'Angers. Concernant la fertilisation, c'est la forme minérale qui est privilégiée sur le site d'Angers et la forme organique sur le site de Champigné. Pour les éléments semi-naturels, leur proportion est plus importante sur le site d'Angers compte tenu de la proximité de bois et de haies.
- **Le nuage « R12, R14 et R17 » (site de Champigné)** est expliqué par 2 variables (corrélées négativement à l'axe 2) : l'IFT total et l'IFT insecticide qui sont plus élevés pour ces parcelles que pour la parcelle R23
- **Le nuage de la parcelle R23 (site de Champigné)** est expliqué par 2 variables : la proportion de familles botaniques « autres » (corrélée négativement avec l'axe 1) et la quantité d'azote par hectare (corrélée positivement avec l'axe 2. En effet, la composition floristique y est très diversifiée et la quantité d'azote par ha est supérieure à celle des autres parcelles. On peut penser que la fertilisation azotée réelle de cette parcelle est sous-estimée, du fait de la restitution par les moutons présents toute l'année.

D.5 Comparaison des données observées avec les données prédites par le modèle Biosyscan

D.5.1 Que faut-il retenir de nos observations sur le terrain ?

Tableau 8 : Synthèse des résultats des relevés entomologiques de 2025

Parcelles	Somme des Indices de Shanon	Classes de biodiversité observée 2025
R14	5,41	2
PK	4,91	1
P5	5,68	3
R17	5,09	2
R12	6,68	4
P16	5,2	1
P2	5,85	3
R23	6,78	4

Pour évaluer notre modèle et le comparer aux données de terrain, nous avons classé les parcelles en sommant les indices de Shannon moyen de chaque type de pièges selon 4 classes (1 : très faible ; 2 faible ; 3 élevée ; 4 très élevée ; Tableau 8).

Les classes obtenues pour les relevés vont de 1 à 4 avec 4 groupes de parcelles :

- Parcelles PK et P16 : la biodiversité est très faible (1/4)
- Parcelles R14 et R17 : la biodiversité est faible (2/4)
- Parcelles P5 et P2 : la biodiversité est élevée (3/4)
- Parcelles R12 et R23 : la biodiversité est très élevée (4/4)

D.5.2 Est-ce que le modèle Biosyscan prédit avec justesse les données de biodiversité observées ?

De manière similaire, nous classons les parcelles en 4 classes en fonction de l'indice Biosyscan₂₀₂₄ (fourni par des travaux de l'INRAe, calculé selon les paramètres de 2024) et l'indice Biosyscan₂₀₂₅ (calculé selon les paramètres de 2025).

Tableau 9 : Comparaison du modèle Biosyscan aux données théoriques

Parcelles	Biosyscan 2024	Biosyscan 2025	Classes de biodiversité Biosyscan 2024	Classes de biodiversité Biosyscan 2025	Classes de biodiversité observée 2025	Delta (Biosyscan-observée) 2025
R14	66	67	1	2	2	0
PK	68	68	2	2	1	-1
P5	66	69	1	2	3	-1
R17	60	70	1	2	2	0
R12	71	71	2	2	4	-2
P16	68	72	2	2	1	+1
P2	81	75	4	3	3	0
R23	85	86	4	4	4	0

Les classes obtenues selon l'indice Biosyscan₂₀₂₄ et celles obtenues selon l'indice Biosyscan₂₀₂₅ présentent des différences pouvant s'expliquer par la variation de paramètres pris en compte par le modèle selon l'année.

Les classes obtenues selon modèle Biosyscan en 2025 vont de 2 à 4 avec 3 groupes de parcelles :

- Parcelles R14, PK, P5, R17, R17, P16 : la biodiversité est faible (2/4)
- Parcelle P2 : la biodiversité est élevée (3/4)
- Parcelle R23 : la biodiversité est très élevée (4/4)

Ainsi, si on compare les classes de biodiversité observées en 2025 et celles de Biosyscan en 2025, on remarque que les classes sont identiques pour seulement 4 parcelles (delta=0). En effet le modèle a correctement prévu la biodiversité pour la parcelle R23 mais a sous-estimé la biodiversité pour 3 autres parcelles et l'a surestimée pour la P16.

E Discussions et conclusion

H1 : La biodiversité est plus élevée dans les parcelles soumises à un faible indice de fréquence de traitement (IFT).

Cette hypothèse est vraie pour la parcelle R23 (en conduire biologique) mais on n'observe pas systématiquement un gradient entre biodiversité et IFT.

H2 : La présence d'éléments semi-naturels favorise une biodiversité plus riche et diversifiée dans les parcelles.

Le pourcentage d'éléments semi-naturels est une variable explicative pour nos données (ACP), il explique donc en partie les différences de biodiversité entre les 2 sites.

H3 : La diversité botanique est liée positivement à la diversité entomologique :

La diversité botanique influe sur la diversité entomologique et il existe des interactions positives mais ces interactions dépendent des familles de plantes et des taxons des espèces d'arthropodes.

H4 : La proportion d'espèces végétales au stade floraison est liée positivement à la proportion d'auxiliaires :

La matrice de corrélation de l'ACP (Annexe 11) montre que la proportion de plantes au stade floraison est liée positivement aux populations de ces prédateurs spécialistes et généralistes

Limites de l'expérimentation :

Cette expérimentation comporte des limites. Tout d'abord, certaines variables, telles que les paramètres climatiques et pédologiques n'ont pas été prises en compte

De plus, en ce qui concerne l'échantillonnage, des contraintes humaines (impossibilité de faire l'ensemble des mesures le même jour sur l'ensemble des parcelles), culturelles (impossibilité de venir sur la parcelle à cause des traitements) ou scientifique (impossibilité d'avoir une précision à l'espèce pour les insectes) augmente la variabilité des données récoltées.

Par ailleurs, l'échantillonnage ayant été effectué en milieu non contrôlé, même en augmentant le nombre de variables prises en compte, il sera impossible de prendre en considération l'intégralité des variables impactant la biodiversité (impact significatif d'éléments imprévisibles tels que l'impact de la macrofaune, notamment les chevreuils et les moutons, sur les vergers et sur les pièges).

En ce qui concerne les résultats, deux autres facteurs limitent leur fiabilité : la variabilité temporelle et le nombre limité des échantillons.

Perspectives :

La prise en compte des effets des éléments semi-naturels via l'analyse des résultats du suivi de la bande fleurie ou par la prise en compte d'autres paramètres (prise en compte de la connectivité paysagère, comparaison plus précise des différents types d'éléments semi-naturels) permettraient de rendre les résultats plus fiables.

Enfin, l'étude de ce type de données sur plusieurs années permettrait d'obtenir une analyse plus fine de la biodiversité, en intégrant la variabilité temporelle.

Les résultats obtenus par le suivi que j'ai effectué et par les suivis de biodiversité qui seront menés par l'IINRAe sur cette même problématique permettront d'améliorer la connaissance de la biodiversité dans les vergers de pommiers. Elle permettra aussi d'améliorer des modèles comme Biosyscan, afin de les rendre plus précis et de proposer ainsi aux agriculteurs des outils fiables pour évaluer et favoriser la biodiversité sur leurs exploitations.

F Bibliographie

ANPP (Association Nationale Pommes Poires), 2024. *Chiffres clés de la production*. Disponible sur : <https://www.lapomme.org/chiffres/consommation-en-france>

ANPP (Association Nationale Pommes Poires), 2024. *Consommation en France*. Disponible sur : <https://www.lapomme.org/chiffres/consommation-en-france>

- ANPP (Association Nationale Pommes Poires), 2025. *Production en France par variétés*. Disponible sur : <https://www.lapomme.org/chiffres/production-en-france-par-varietes>
- Arboriculteurs de Wiesviller, (s.d.). *Tableau des variétés de pommes et de leurs sensibilités*. Disponible sur : <https://arboriculteurs-wiesviller.e-monsite.com/medias/files/tableau-varietes-pommes.pdf>
- Artu-Chaplain, Tristan. (2024). *Évaluation de l'impact des pratiques culturales et du contexte paysager sur la biodiversité des vergers expérimentaux de pommiers en Pays de la Loire*
- ARVALIS – Institut du végétal, 2018. *Auxiliaires des cultures – Comment installer et relever des pièges pour suivre les populations ?* Disponible sur : <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/comment-installer-et-relever-des-pieges-pour-suivre-les-populations>
- AtlasBig, 2025. *Pays par production de pommes*. Disponible sur : <https://atlasbig.fr/pays-par-production-de-pommes>
- Évaluation de l'impact des pratiques culturales et du contexte paysager sur la biodiversité des vergers expérimentaux de pommiers en Pays de la Loire Par : TARTU--CHAPLAIN
- Chambre d'Agriculture de la Charente, 2024. *Itinéraire technique du pommier en agriculture biologique*. Disponible sur : https://charente.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/253_chambre_agriculture_de_la_charente/Documents/PRODUIRE/BIO/GB_POMMIER-2024-VD-BD.pdf
- Chambre d'Agriculture de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), 2024. *L'arboriculture fruitière en agriculture biologique – Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur*. Disponible sur : <https://paca.chambres-agriculture.fr>
- Chevalier, M., Lemaire, H., David, S., *Clé de détermination des Poacées (Graminées) prairiales et adventices des cultures*.
- Chevalier, M., Lemaire, H., David, S., *Clé de détermination des Fabacées (légumineuses papilionacées) prairiales*.
- Dib, H., Libourel, G., & Warlop, F., 2017. Impact of agroecological infrastructures on the dynamics of *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies in apple orchards in Northwestern France. *BioControl*, 62(3), 401–413. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/316630352> (consulté en juin 2025)
- Chinery, M., 1976. *Les insectes d'Europe en couleurs*, Elsevier Séquoia, 380 p. ISBN : 2800301511.
- CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes), 2001. *Reconnaître les auxiliaires en vergers et vignes*, CTIFL, 124 p. ISBN : 9782879111650.
- Dib, H., Libourel, G., & Warlop, F. (2017). *Impact of agroecological infrastructures on the dynamics of Dysaphis plantaginea (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies in apple orchards in Northwestern France*. *BioControl*, 62(3), 401–413. <https://www.researchgate.net/publication/316630352>
- ePhytia – INRAE. Portail d'aide au diagnostic et à la connaissance des organismes nuisibles aux cultures. Disponible sur : <https://ephytia.inra.fr/fr/Home/index> (consulté en avril 2025)
- Fannelie, 2022. « Les variétés de pommes ». [En ligne]. Disponible sur : <https://www.fannelie.com/lexique-canada-europe-les-varietes-depommes/>
- Fédération Nationale d'Agriculture Biologique (FNAB), (février 2023). Note conjoncture « fruits à pépins bio » : campagne 2022–2023. Disponible sur : https://www.produire-bio.fr/wp-content/uploads/2023/02/Note-Conjoncture-fruits-a-pepins-FNAB-2022_2023.pdf
- Fitter, R., Fitter, A., Blamey, M., 2014. *Guide des fleurs sauvages*, 7e éd., Delachaux et Niestlé, 336 p. ISBN : 9782603016381.
- Fried, G., Andrade, C., Villers, A., Porcher, E., Cyllly, D., Cluzeau, D., Guillocheau, S., et al., 2019. « Premiers résultats du réseau Biovigilance 500 ENI sur le suivi des effets non-intentionnels des pratiques agricoles sur la biodiversité ». *Innovations Agronomiques*, 75: 87-98. Disponible sur : <https://doi.org/10.15454/tmdo06>
- FranceAgriMer, 2021. *Achats de fruits et légumes 2021*. Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/68530/document/ACHATS%20FL%202021.pdf?version=2>

Table des tableaux

Numéro du tableau	Titre
1	Caractéristiques des ravageurs du pommiers,
2	Caractéristiques des auxiliaires spécialistes du pommier
3	Caractéristiques des auxiliaires généralistes du pommier
4	Synthèse des caractéristiques des parcelles étudiées
5	Extrait de la base de données des interventions phytosanitaires relatives à la parcelle R23
6	Exemple partiel de passage de données brutes aux données transformées
7	Exemple partiel de passage de données brutes aux données transformées
8	Synthèse des résultats des relevés entomologiques de 2025
9	Comparaison du modèle Biosyscan aux données théoriques

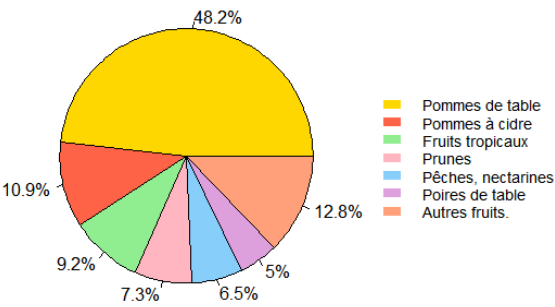
Table des figures

Numéro de la figure	Titre
1	Cycle de développement du pommier
2	Itinéraire technique simplifié du pommier
3	Répartition d'échantillonnage sur une parcelle de verger (exemple de la PK)
4	Répartition d'échantillonnage sur la parcelle sans verger (R01)
5	Représentation des espaces considérés dans un verger de pommier
6	Protocole des relevés botaniques
7	Protocole des relevés avec un piège
8	Protocole des relevés avec un filet
9	Protocole des relevés de fréquentation pour la parcelle R01
10	Protocole des relevés avec le parapluie japonais
11	Protocole des relevés avec l'observation
12	Répartition des différents éléments paysagers dans un rayon de 150 m autour de la P2
13	Logique et paramètres pris en compte par le modèle Biosyscan
14	Composition floristique des parcelles de vergers étudiées sur l'année 2025
15	Chronologie des stades phénologiques dans les 8 parcelles de vergers (5 relevés avec 5 répétitions)
16	Evolution du stade phénologique moyen selon les parcelles de verger en fonction du temps (Végétatif :1 ; Floraison :2 ; Fruit/Graine :3)
17	Chronologie de la présence des groupes d'invertébrés par strate et selon les groupes fonctionnels et les parcelles
18	Matrice des résidus standardisés issus du χ^2 entre les taxons composants les groupes fonctionnels et les dates (corrélation positive en rouge et négative en bleu)
19	Matrice des résidus standardisés issus du χ^2 entre les taxons composants les groupes fonctionnels et les parcelles (corrélation positive en rouge et négative en bleu)
20	Matrice de corrélation entre les taxons composant les groupes fonctionnels et les familles de plantes
21	Projection en ACP de l'ensemble des points d'échantillonnage dans les parcelles de verger en 2025 (un symbole par parcelle) avec les principales variables explicatives

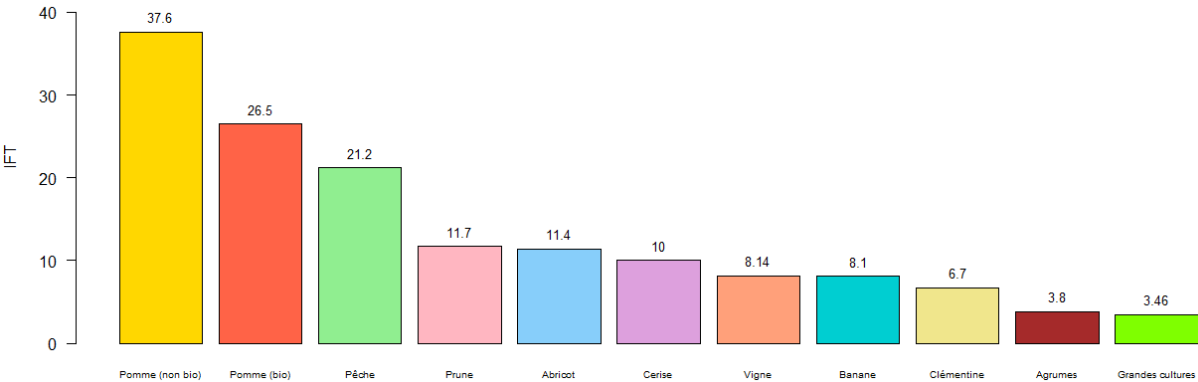
Table des annexes et annexes

Numéro de l'annexe	Titre
1	Proportion des productions fruitières en France
2	Indices de fréquence de traitements des différentes cultures en France
3	Répartition des 2 sites d'étude et répartition des parcelles étudiées sur chaque site
4	Variables utilisées pour l'analyse des résultats et classification des éléments paysagers
5	Formules utilisées pour calculer l'IFT et l'indice de Shannon
6	Tableaux récapitulatifs des espèces végétales relevées durant les 2 suivis
7	Résultats des tests statistiques comparant la composition floristique des parcelles de vergers
8	Tableaux récapitulatifs des espèces animales relevées durant les 2 suivis
9	Tests statistiques du χ^2 des groupes fonctionnels selon la date et selon les parcelles
10	Données météorologiques d'Angers pour l'année 2025 (issues de météo France)
11	Représentations complémentaires obtenues grâce à l'ACP

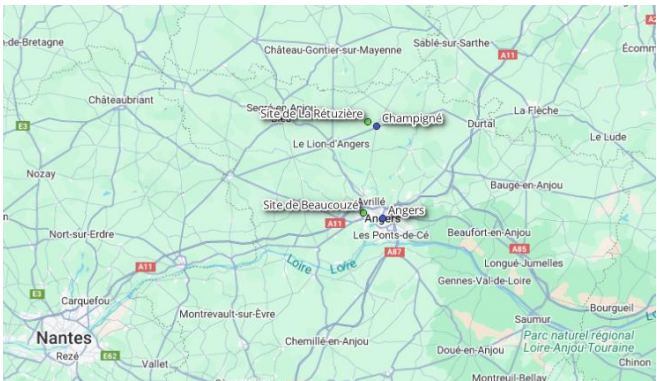
Annexe 1 : Proportion des productions fruitières en France (Source : Agreste 2020)



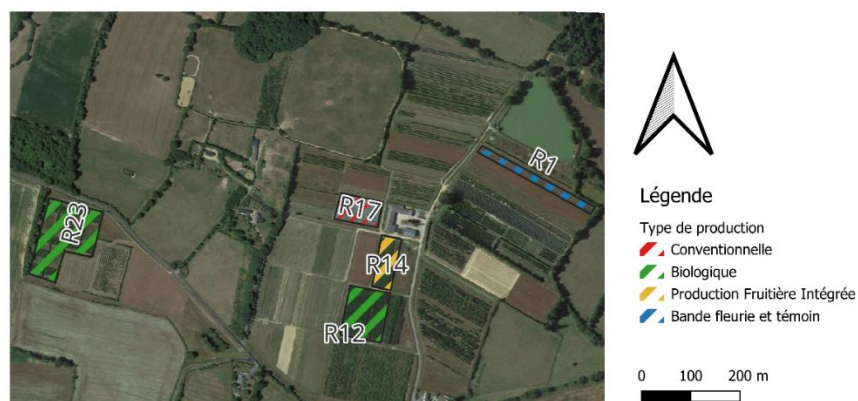
Annexe 2 : Indices de fréquence de traitements des différentes cultures en France (source : Agreste 2018)



Annexe 3 : Répartition des 2 sites d'étude et répartition des parcelles étudiées sur chaque site



Répartition des 2 sites d'étude



Répartition des parcelles étudiées sur le site de Champigné



Répartition des parcelles étudiées sur le site d'Angers

Annexe 4 : Variables utilisées pour l'analyse des résultats et classification des éléments paysagers

Variables communes aux 2 suivis			Variables propres au suivi de parcelles		
Groupe de variable	Variable	Unité	Groupe de variable	Variable	Unité
Descriptive	Site	Qualitative	Géographique	Zone Herbeuse	ha
	Date	Qualitative		Arbre	ha
	Modalité	Qualitative		Forêt	ha
	Répétition	Qualitative		Haie	ha
	TypePiège	Qualitative		Prairie	ha
Botanique	%_végétatif	%		Bâtiment	ha
	%_Fleuri	%		Route	ha
	%_Fruit/Graine	%		Parcelle	ha
	Richessespe_bota	Nombre		Pommiers	ha
	%_Apiaceae	%		Poiriers	ha
	%_Asteraceae	%		Rosiers	ha
	%_Fabaceae	%		Myrtille	ha
	%_Plantaginaceae	%		Féverole	ha
	%_Poaceae	%		Céréales	ha
	%_Autre	%		Phacélie	ha
	ShanonBota	Nombre		Engrai vert	ha
Entomologique	%_Protecteur	%	Culturale	%ESN	%
	%_Ravageur	%		%fertimineral	%
	%_PredateurG	%		Quantité azote	En kg/ha
	%_PredateurS	%		ift_Fong	Indice
	Shanonento	Indice		ift_Insect	Indice
				ift_Total	Indice

Route = élément artificiel, Parcelle = élément cultivé, Haie= élément semi-naturel

Annexe 5 : Formules utilisées pour calculer l'IFT et l'indice de Shannon

- Indice de Shannon :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

H' : indice de biodiversité de Shannon

i : une espèce du milieu d'étude

S : richesse spécifique

p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'individus (N) dans le milieu d'étude, qui se calcule de la façon suivante :

$$p(i) = n_i / N$$

où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

- Indice de Fréquence de Traitement (IFT)

$$IFT = \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose de référence}} \times \frac{\text{Surface traitée}}{\text{Surface parcelle}}$$

Annexe 6 : Tableaux récapitulatifs des espèces végétales relevées durant les 2 suivis

Famille	Espèce	Nom latin
Amaranthaceae	Chénopode blanc	Chenopodium album
Apiaceae	Carotte sauvage	Daucus_carota
	Fenouil commun	Foeniculum_vulgare
Asteraceae	Achillée millefeuille	Achillea_millefolium
	Pâquerette	Bellis_perennis
	Bleuet	Centaurea_cyanus
	Chardon des champs	Cirsium_arvense
	Crépide capillaire	Crepis_capillaris
	Picride fausse vipérine	Helminthotheca_echioides
	Porcelle enracinée	Hypochaeris_radicata
	Sénéçon Jacobée	Jacobaea_vulgaris
	Liondent hispide	Leontodon_hispidus
	Marguerite	Leucanthemum_vulgare
	Matricaire sp	Matricaria_sp
	Seneçon commun	Senecio_vulgaris
	Laiteron rude	Sonchus_asper
	Laiteron maraicher	Sonchus_oleraceus
	Pissenlit	Taraxacum_officinale
Boraginaceae	Bourache	Borago_officinalis
	Myosotis	Myosotis_arvensis
	Phacélie	Phacelia_tanacetifolia
Brassicaceae	Alysse	Alyssum_sp
	Arabette des dames	Arabis_hirsuta
	Capselle bourse à pasteur	Capsella_bursa-pastoris
	Cardamine hirsute	Cardamine_hirsuta
	Ravenelle	Raphanus_raphanistrum
Caryophyllaceae	Céraïste commun	Cerastium_fontanum
	Œillet à delta	Dianthus_deltoides
	Caryophyle bleu inco	Dianthus_sp
	Caryophyle sp inco	Dianthus_sp
	Sagine couchée	Sagina_procumbens
	Sagine grise	Sagina_sp
	Silène	Silene_sp
	Stellaire intermédiaire	Stellaria_media
Convolvulaceae	Liseron des haies	Calystegia_sepium
	Liseron des champs	Convolvulus_arvensis
Euphorbiaceae	Euphorbe des jardins	Euphorbia_peplus
	Mecuriale annuelle	Mercurialis_annua

Famille	Espèce	Nom latin
Fabaceae	Gesse des prés	Lathyrus_pratensis
	Lotier corniculé	Lotus_corniculatus
	Luzerne tachetée	Medicago_arabica
	Luzerne lupuline	Medicago_lupulina
	Trèfle douteux	Trifolium_dubium
	Trèfle violet (poilu)	Trifolium_pratense
	Trèfle blanc	Trifolium_repens
	Vesce craque	Vicia_cracca
	Fèverole	Vicia_faba
	Vesce hirsute	Vicia_hirsuta
	Vesce cultivée	Vicia_sativa
	Vesce à 4 graines	Vicia_tetrasperma
Geraniaceae	Géranium colombin	Geranium_columbinum
	Géranium disséqué	Geranium_dissectum
	Géranium à feuilles rondes	Geranium_rotundifolium
Hypericaceae	Millepertuis	Hypericum_perforatum
Lamiaceae	Lamier pourpre	Lamium_purpureum
	Brunelle	Prunella_vulgaris
Onagraceae	Epilobe (à quatre angles)	Epilobium_tetragonum
Plantaginaceae	Plantin lancéolé	Plantago_lanceolata
	Plantin majeur	Plantago_major
Polygonaceae	Rumex acetosa	Rumex_acetosa
	Rumex acetosella	Rumex_acetosella
	Rumex crispus	Rumex_crispus
	Rumex obtusifolius	Rumex_obtusifolius
	Renouée amphibie	Persicaria_amphibia
	Renouée Persicaire	Persicaria_maculosa
	Renouée des oiseaux	Polygonum_aviculare
Primulaceae	Mouron rouge	Anagallis_arvensis
Ranunculaceae	Renoncule bulbeuse	Ranunculus_bulbosus
	Renoncule rampante	Ranunculus_repens
Rosaceae	Pimprenelle	Sanguisorba_minor
	Potentille rampante	Potentilla_reptans
Solanaceae	Morelle noire	Solanum_nigrum
Scrophulariaceae	Véronique de perse	Veronica_persica
Violaceae	Violette odorante	Viola_odorata

Famille	Espèce	Nom latin
Poaceae	Agrostis vulgaire	Agrostis_capillaris
	Agrostis stolonifère	Agrostis_stolonifera
	Vulpin genouillé	Alopecurus_geniculatus
	Vulpin des prés	Alopecurus_pratensis
	Brome stérile	Anisantha_sterilis
	Flouve odorante	Anthoxanthum_odoratum
	Avoine à chapelet	Arrhenatherum_elatius
	Brome mou	Bromus_hordeaceus
	Brome sp	Bromus_sp
	Dactyle aggloméré	Dactylis_glomerata
	Panic pied-de-coq	Echinochloa_crus-galli
	Fétuque des prés	Festuca_pratensis
	Houlque laineuse	Holcus_lanatus
	Ray Gras d'Italie	Lolium_multiflorum
	Ray Gras Anglais	Lolium_perenne
	Paturin annuel (fil)	Poa_annua
	Paturin des prés	Poa_pratensis

Annexe 7 : Résultats des tests statistiques comparant la composition floristique des parcelles de vergers

- Résultat des différentes ANOVA à 1 facteur et des tests de Tukey

Variable	Moyenne	F value	p-value	Significativité	R17	PK	P5	P16	R14	P2	R12	R23
Shanon_bota	2,27	9.042	1.24e-09	*** très significatif	bcd	ab	cd	d	abc	ab	a	a
Richesse_spécifique	8,865	8.047	1.43e-08	*** très significatif	b	b	b	b	b	b	a	b

- ANOVA 2 facteurs stade phénologique (avec stade v =1 ; avec stade v =2 ; avec stade v =3)

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

Date 4 10.240 2.5599 69.787 < 2e-16 ***

Modalite 7 0.715 0.1022 2.785 0.00932 **

Date:Modalite 27 3.830 0.1419 3.867 4.55e-08 ***

Residuals 156 5.722 0.0367

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe 8 : Tableaux récapitulatifs des espèces animales relevées durant les 2 suivis

Groupe	Classe	Ordre	Sous embranchement	Nom vernaculaire
Annélide	Clitellata	Haplotaxida	-	Ver de terre
Arthropode	Arachnida	Acarina	-	Acarien
		Aranea	-	Araignée
		Opilion	-	Opilion
	Entognatha	Collembola	-	Collembole
	Insecte	Coléoptère	-	Autres coléoptères
			Cantharidae	Cantharide
			Carabidae	Carabe
			Coccinellidae	Coccinelle adulte
			Coccinellidae	Coccinelle larve
			Curculionidae	Charançon
			Elateridae	Taupins et autres
			Oedemeridae	Œdémère noble
			Scarabaeidae	Scarabée, Cétoine, etc.
			Silphidae	Nécrophore
			Staphylinidae	Staphylin
		Dermaptère	Forficulidae	Perce-oreille
		Diptère	Autres diptères	Tipules, taon, ...
			Brachycera	Mouche
			Cecidomyiidae	Cécidomyies
			Stratiomyidae	Chloromye
			Syrphidae	Syrphe adulte
			Syrphidae	Syrphe larve
		Hémiptère	Aphididae	Puceron vert du pommier
				Puceron cendré du pommier
				Puceron lanigère du pommier
			Auchenorrhyncha	Cigale
			Cercopoidea	Autre cercope
				Cercope sanguin
				Cercope des prés
			Hétéroptère	Mirides
				Nèpe cendrée
				Punaise indéterminée
				Punaise phytophage
				Punaise prédatrice
		Psylloidea		Psylle

Groupe	Classe	Ordre	Sous embranchement	Nom vernaculaire
Arthropode	Insecte	Hyménoptère	Apoidea	Abeille
			Formicidae	Fourmi
			Symphyta	Symphytes
			Térébrants	Hyménoptères parasitoïdes
			Vespidae	Guêpe sociale
			-	Chenille
		Lépidoptère	Heterocera	Papillon de nuit
			Rhopalocera	Papillon du jour
			Tordicridae	Tordeuse
			Panorpidae	Panorpe
			Yponomeutidae	Hyponomeute du cerisier
		Mécoptère	Chrysopidae	ChrysopeA
		Névroptère	Chrysopidae	ChrysopeL
				Libellule et demoiselle
		Odonate	-	Sauterelle, criquet, grillons
		Orthoptère	-	Thrips
		Thysanoptera	-	Larve d'insecte indéterminée
	Malacostraca	-	-	Cloportes
	Myriapoda	Isopoda	-	Myriapode
Gastéropode	-	-	-	Escargot/Limace

Annexe 9 : Tests statistiques du χ^2 des groupes fonctionnels selon la date et selon les parcelles

- Résultat χ^2 groupe fonctionnel selon la date
-

Pearson's Chi-squared test

data: données

X-squared = 3108.7, df = 64, p-value < 2.2e-16

- Résultat χ^2 groupe fonctionnel selon la parcelle

Pearson's Chi-squared test

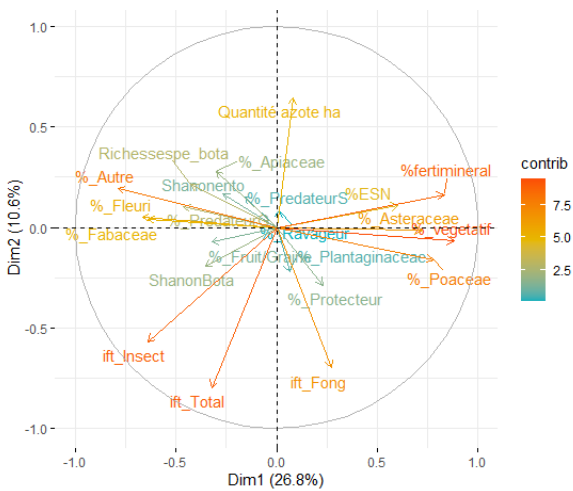
data: données

X-squared = 1792, df = 112, p-value < 2.2e-16

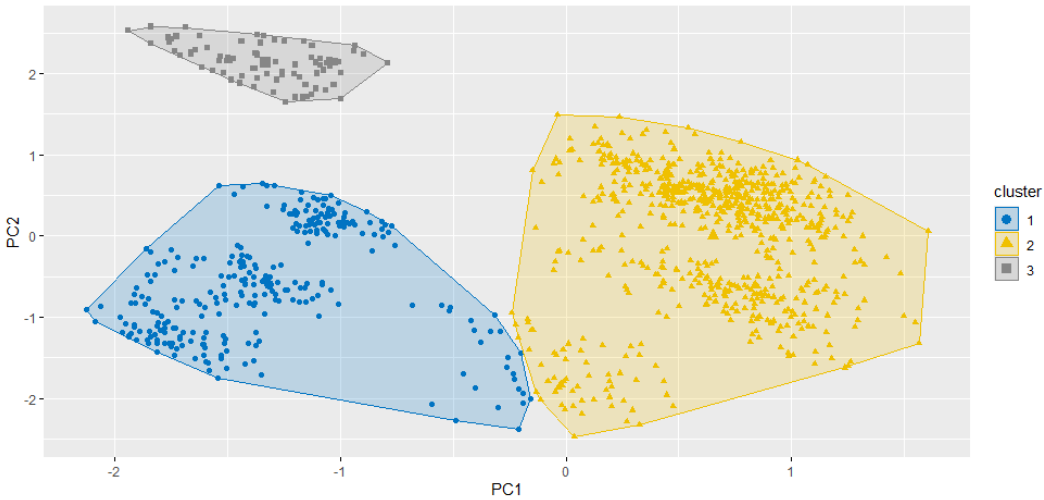
Annexe 10 : Données météorologiques d'Angers pour l'année 2025 (issues de météo France)

Mois	Température [°C]			Vent [km/h]		Ensoleillement ⁴ [h]	Précipitations totales ⁵ [mm]	Pression ⁶ [hPa]	
	Min. ¹	Max. ²	Moy. ³	Moy. ³	Max.			Min.	Max.
Janv.	-5.4	13.8	5.1	0	40.7	89h 12min	145.6	985.4	1042.2
Févr.	-2.5	16.3	6	0	35.2	61h 12min	52.6	1008.2	1040.6
Mars	-1.4	18.8	9.1	0	25.9	146h 54min	28.3	997.3	1031.8
Avr.	2.5	27.8	13.3	0	33.3	207h 12min	37.5	995.2	1027.4
Mai	5.1	32.4	16	0	27.8	229h 54min	16.9	1008.7	1026.1
Juin	9.1	38.0	21.5	0	29.6	282h 12min	12.7	1008.7	1029.5
Juill.	10.7	36.5	21.2	0	35.2	224h 18min	55.6	1002.5	1028.8
Août	10.0	35.3	21.2	0	24.1	138h 48min	5.6	1011	1027.9
	-5.4	38.0	14.2	0	40.7	1379h 42min	354.8	985.4	1042.2

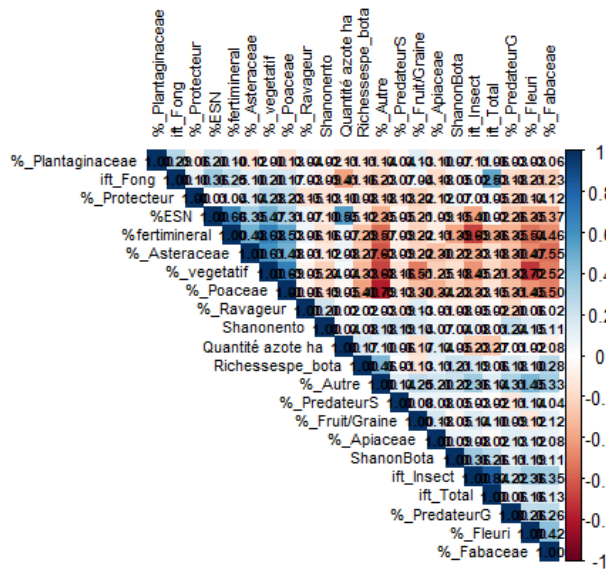
Annexe 11 : Représentations complémentaires obtenues grâce à l'ACP



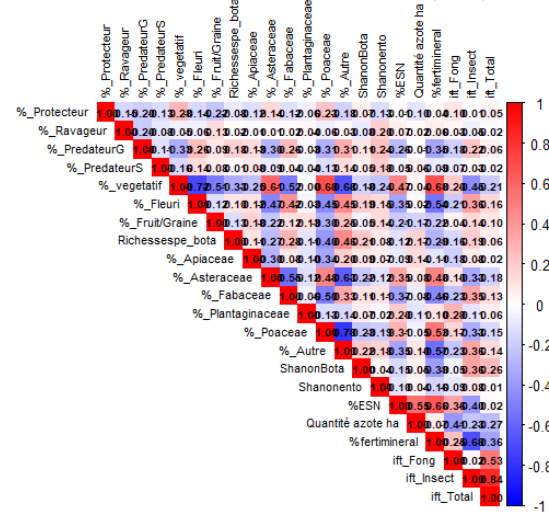
Projection des variables dans l'ACP



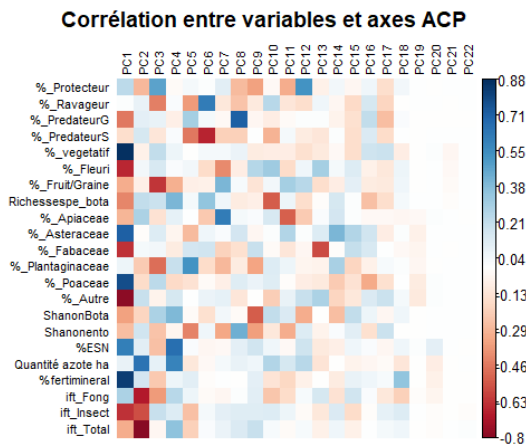
Cluster des individus (ACP Axe 1 et 2)



Matrice de corrélation des variables (ACP)



Matrice de corrélation des variables (ACP)



Matrice de corrélation entre variable et axes ACP

Résumé

Ce stage s'inscrit dans le projet CAP0PHYTO, visant à réduire les traitements dans la culture de la pomme, fruit le plus **traité** en raison de son itinéraire technique intensif. Les vergers, écosystèmes particuliers composés de trois **strates** (épigée, herbacée, arborée), hébergent une diversité d'arthropodes, **auxiliaires** et **ravageurs**. La méthodologie utilisée a permis d'évaluer la biodiversité à travers des indicateurs paysagers et culturels, notamment l'indice de fréquence de traitement (**IFT**). Les résultats montrent que la biodiversité est généralement plus élevée dans les parcelles à faible IFT, mais ce n'est pas systématique. La présence d'éléments semi-naturels favorise aussi une diversité plus riche, tout comme la diversité botanique, qui influence la diversité entomologique. La proportion de plantes en floraison est liée positivement à celle des auxiliaires. Cependant, des limites comme l'absence de prise en compte de certains paramètres et la variabilité des échantillons nuancent cette interprétation. Une étude sur plusieurs années et une meilleure prise en compte du paysage permettraient d'affiner ces résultats et d'améliorer des modèles prédictifs de biodiversité tel que le modèle Biosyscan.

Abstract

This internship is part of the CAP0PHYTO project, which aims to reduce treatments in apple cultivation, the most **treated** fruit due to its intensive technical itinerary. Orchards, unique ecosystems composed of three spaces (the ground, herbaceous, and arboreal layers), host a diversity of arthropods, both **pests** and **beneficial insects**. The methodology used allowed for the assessment of biodiversity through landscape and cultural indicators, notably the Treatment Frequency Index (**TFI**). Results show that biodiversity is generally higher in plots with low TFI, but this isn't always the case. The presence of semi-natural elements also promotes richer diversity, as does botanical diversity, which influences entomological diversity. The proportion of flowering plants is positively correlated with that of beneficial arthropods. However, limitations such as the exclusion of certain parameters and sample variability temper this interpretation. A multi-year study and better consideration of landscape factors would help refine these results and improve predictive biodiversity models like Biosyscan.