MASTER AGROSCIENCES

Gestion de la Qualité des Productions Végétales

2ème année

ESSAIS DE COUVERTS VEGETAUX POUR LA GESTION DES ADVENTICES ET LA PROMOTION DE LA BIODIVERSITE

WATERKEYN Lucille

Lieu de stage :

EPL Tournus – Les Perrières
BP 99 – 71700 TOURNUS
Tél : 03 85 32 26 00
Fax : 03 85 32 17 34
www.epl-tournus.educagri.fr

Encadrement : Sylvain HEDOUX
Directeur d'exploitation

Année Universitaire 2017 – 2018

Remerciements

Je remercie tout d'abord mon maître de stage, Sylvain Hedoux, pour sa confiance et la grande liberté d'organisation qu'il m'a laissée, mais aussi pour ses encouragements et sa bonne humeur. Je remercie tout particulièrement Aurélie Nalin, chargée de mission sur ce projet, qui m'a grandement accompagnée dans la prise en main du sujet et dans sa réalisation expérimentale, ainsi que Alain Ferre, coordonnateur du projet qui a pu m'apporter quelques éclairages méthodologiques. Je remercie aussi Severine Ducroux et Stephane Petit pour l'aide apportée lors des relevés floristiques et faunistiques. Je remercie également Mme Boulon, directrice de l'établissement, pour son accueil et pour son attention et sa rigueur dans le suivi du projet. Enfin, je remercie toute l'équipe pédagogique et administrative, ainsi que le personnel de l'exploitation pour la bonne humeur générale qui a rendu ces 6 mois de stage très agréables.

Résumé

Il est aujourd'hui indispensable de proposer des alternatives au désherbage chimique ou mécanique pour répondre aux enjeux de la transition écologique et aux objectifs de réduction de l'usage des produits phytosanitaires. Cette expérimentation étudie l'utilisation de six couverts végétaux pour la limitation des adventices dans un verger ou sur des zones non cultivées d'une exploitation horticole. La communauté d'arthropodes associée aux couverts, et notamment la présence d'auxiliaires, est étudiée. L'effet des couverts sur la présence de deux ravageurs du pommier, le carpocapse et les pucerons est évalué. Les résultats mettent en avant l'efficacité de deux couverts pour la gestion des adventices (n°2 et 5). Les autres couverts montrent des résultats plus mitigés, avec une faible réussite d'implantation ou des performances variables au cours du temps. Les couverts n'ont pas montré une biodiversité d'arthropode plus importante que pour le témoin végétation spontanée, mais la présence de pollinisateurs était favorisée pour deux couverts (n°1 et 2), et celle des syrphes pour un couvert (n°5). Enfin, les couverts n'ont globalement pas eu d'influence sur la présence des ravageurs.

Mots-clés : alternative aux herbicides ; agroécologie ; protection intégrée par conservation

Summary

In order to meet the challenge of ecological transition and the objective of reducing the use of plant protection products, it is now essential to propose alternatives to chemical or mechanical weeding. This experiment investigates the use of six cover crops for the control of weeds in an orchard or on uncultivated areas of a horticultural farm. The arthropod community associated with covers, and in particular the presence of auxiliaries, is studied. The effect of covers on the presence of tox apple pests, codling moth and aphids, is evaluated. The results highlight the effectiveness of tow covers for the management of weeds (n°2 and 5). The other covers shows more mixed results, with low implementation success or variable performance over time. Cover crops did not show greater arthropod biodiversity than the control spontaneous vegetation, but the presence of pollinators was stimulated for tow covers (N°1 and 2), and that of hoverflies for one cover (N°5). Finally, cover crops did not have any influence on pest presence.

Keywords: alternative to herbicides; agroecology; integrated protection by conservation

TABLE DES MATIERES

I. Introduction 1

A. Contexte 1

B. Présentation de l'entreprise 1

C. Synthèse bibliographique 2

1. Les adventices 2

2. Les conséquences du désherbage 3

3. Réduire l'utilisation des pesticides 4

4. Les couverts végétaux comme alternative 4

5. Le projet Placohb 6

6. Objectif de l'étude 7

II. Matériel et méthode 8

A. Choix des couverts et description des parcelles implantées 8

1. Verger de conservation 8

2. Exploitation horticole 9

B. Conduite des couverts 9

1. Implantation des couverts 9

2. Entretien des couverts 10

C. Evaluation des couverts 11

1. Critères d'évaluation 11

2. Echantillonnage 11

3. Evaluation des recouvrements végétaux et de la compétitivité des couverts 11

4. Evaluation de la biodiversité associée au couvert 12

5. Evaluation de l'effet des couverts sur les ravageurs du verger 12

6. Analyse statistique 13

III. Résultats 13

A. Gestion des adventices par les couverts 13

1. Installation et développement des couverts 13

2. Pouvoir concurrentiel des couverts 15

B. Biodiversité associée aux couverts 15

C. Effet des couverts sur les ravageurs au verger 18

IV. Discussion 19

A. Efficacité des couverts dans la gestion des adventices 19

B. Promotion de la biodiversité par les couverts 20

C. Effet des couverts sur la présence des ravageurs du pommier 21

D. Conclusion 21

V. Bibliographie 23

Annexes 27

I. INTRODUCTION

A. Contexte

Les conséquences des produits phytosanitaires sur l'environnement et sur la santé sont aujourd'hui largement reconnues, et sources de préoccupation pour la population comme pour les pouvoirs public (Aubertot et al., 2005). Cependant, l'efficacité des produits phytosanitaires à gérer les principales contraintes rencontrées dans les systèmes de culture, et en particulier les adventices et les bioagresseurs (maladies et ravageurs des cultures), a conduit à rendre l'agriculture fortement dépendante de ces intrants. Il en va de même pour les zones non cultivées telles que les abords de structures de production (serres, tunnels…), les jardins, les espaces verts, les cimetières, les voiries, etc. où ces produits sont également utilisés. Il est donc aujourd'hui essentiel de pouvoir proposer des solutions alternatives à l'utilisation des produits phytosanitaire afin de répondre aux objectifs de réduction des intrants nécessaires pour préserver la qualité de notre environnement et de notre santé. Dans ce contexte, l'utilisation de plantes couvre-sol se présente comme une solution potentielle pour la gestion des adventices, en alternative au désherbage chimique et mécanique. Ces couverts végétaux pourraient également être utilisés pour promouvoir la biodiversité fonctionnelle en favorisant la richesse des milieux.

B. Présentation de l'entreprise

Le Lycée de l'Horticulture et du Paysage de Tournus est un établissement d'enseignement agricole proposant des formations de la seconde à la licence professionnelle, dans les filières de l'horticulture, du maraîchage, de l'arboriculture et du paysage. Depuis 2014, l'établissement a intégré le Réseau Mixte Technologique (RMT) « Biodiversité et Agriculture » du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Ce RMT a pour objectif de développer et promouvoir des systèmes de culture innovants, mettant en valeur l'utilisation des services offerts par la biodiversité dans un contexte de transition agro-écologique. Le site du lycée est géré dans une démarche de respect de l'environnement, avec une labellisation agriculture biologique ou écojardin, et l'implication dans des projets d'expérimentation innovants.

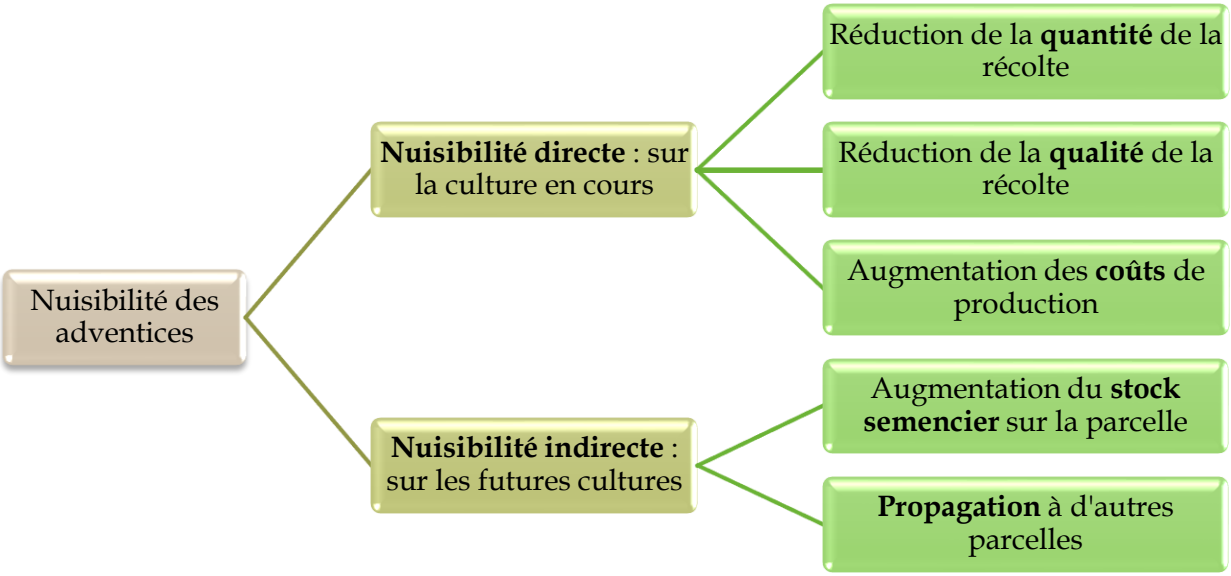


Figure 1 : Nuisibilité des adventices selon les agriculteurs. D'après Macé et al., 2007.

Ainsi, l'expérimentation de couverts végétaux dans le cadre du projet Placohb fait partie intégrante de la démarche de gestion écologique du verger conservatoire et de l'exploitation agricole du Lycée de l'Horticulture et du Paysage de Tournus. Elle entre aussi dans le cadre pédagogique en formant les élèves aux enjeux d'une agriculture en transition auxquels ils devront faire face dans leur future vie professionnelle.

C. Synthèse bibliographique

1. Les adventices

La flore adventice désigne l'ensemble des plantes qui poussent spontanément dans les milieux modifiés par l'homme. La notion d'adventice ou de mauvaise herbe n'est pas nouvelle. Elle existe depuis que l'homme, pour subvenir à ses besoins, a eu l'idée de favoriser certaines plantes par rapport à l'ensemble de la végétation naturelle (Les Mots de l'agronomie, 2018b).

En agriculture, les adventices sont considérées comme nuisibles lorsqu'elles provoquent une diminution du rendement (par concurrence pour les ressources avec la culture) ou de la qualité de la production (impuretés dans les récoltes de céréales par exemple), mais aussi lorsqu'elles entravent le bon fonctionnement des opérations culturales et augmentent ainsi le temps de travail et les coûts de production (Figure 1) (Macé, Morlon, Munier-Jolain, & Quéré, 2007). Ces types de dégâts sont dit « directs » car ils impactent immédiatement la culture en cours, mais les agriculteurs considèrent également les dégâts indirects, pour les futures productions, à travers la production de semences qui conduit à l'augmentation de la banque de graines sur la parcelle et au risque de propagation à d'autres parcelles (Figure 1) (Macé et al., 2007).

En espaces verts, la problématique des adventices est liée à des contraintes techniques similaires à celles de l'agriculture, comme l'accessibilité et la facilité des opérations d'entretien. Mais, plus encore, ce sont les considérations liées à l'esthétisme et la propreté qui constituent un frein à l'acceptabilité de la végétation spontanée (Quennesson & Oste, 2017).

2. Les conséquences du désherbage

Jusqu'au XIXe siècle, le désherbage se faisait exclusivement à la main. Après la Seconde guerre mondiale, avec les progrès de la chimie, l'utilisation des intrants phytosanitaires a fortement augmenté. Ces produits, pesticides, herbicides ou fertilisants, sont perçus comme un important progrès car ils permettent la modernisation de l'agriculture, avec une production accrue pour une main d'œuvre réduite. A cette époque, l'apparition des produits phytosanitaires, avec le développement des sciences agronomiques et de la génétique, a permis l'autosuffisance de la France en matière de production agricole (Les Mots de l'agronomie, 2018a).

Cependant, depuis les années 2000, ont été mises en évidence plusieurs conséquences indésirables à l'utilisation massive de ces produits, telles que des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement, l'apparition de phénomènes de résistance mais aussi le coût des intrants pour l'agriculteur (Aubertot et al., 2005).

Les herbicides sont parmi les produits phytosanitaires les plus vendus avec les fongicides et bactéricides (sur l'ensemble des substances actives vendues pour usage agricole) (CGDD, 2017). Ce sont aussi les plus présents dans les milieux aquatiques, même si l'interdiction de certain herbicides les plus écotoxiques a permis une diminution de 5% de leur teneur dans l'eau entre 2013 et 2014 (CGDD, 2017). L'utilisation des herbicides et autres produits phytosanitaires est donc problématique pour la qualité sanitaire de l'eau.

Les sols laissés nus après désherbage chimique ou surtout mécanique sont plus sensibles à l'érosion. On estime ainsi que le passage de 100% à 1% de couvert végétal multiplie l'érosion par 200 (Pimentel & Burgess, 2013). Le désherbage mécanique accroît encore le risque d'érosion puisque le travail du sol favorise l'arrachement des particules. Le phénomène d'érosion conduit à l'appauvrissement des terres cultivables et pourrait être responsable à lui seul d'une diminution de 30% de la production alimentaire dans les prochaines décennies (Pimentel & Burgess, 2013). Il est donc indispensable de concevoir des systèmes de production permettant de

préserver la qualité des sols en conservant une couverture végétale permanente. Notamment, il a été montré que les couverts végétaux permettent de limiter l'érosion du sol, de favoriser l'infiltration de l'eau, et améliore globalement la fertilité et la structure du sol (Mohammadi, 2012; Parveaud et al., 2011).

3. Réduire l'utilisation des pesticides

Les préoccupations liées aux produits phytosanitaires ont conduit les pouvoirs publics à adopter des mesures visant à réduire leur utilisation. Dans cette perspective, le plan Ecophyto est lancé en France en 2008, avec l'objectif de réduire de 50% l'usage des produits phytosanitaires d'ici 2018 (repoussé à 2025 dans le plan Ecophyto 2). De même, la loi Labbé interdit depuis 2017 l'usage des produits phytosanitaires dans les espaces verts, forêts et voiries ouverts au public. Enfin, de plus en plus de substances présentant des risques (éco)toxicologiques trop importants sont retirées du marché.

Malgré tout, il est difficile de sortir de la dépendance à ces produits. On peut citer en exemple le cas du glyphosate, l'herbicide le plus utilisé, dont l'autorisation de mise sur le marché a été prolongée de 3 ans faute d'alternative satisfaisante pour les usagers. De même, l'objectif ambitieux du plan Ecophyto 1 n'a pas été atteint puisqu'entre 2009 et 2013 la consommation française de produits phytosanitaires aurait au contraire augmenté de 5% (Guichard et al., 2017). Cet échec s'expliquerait notamment par des actions portées principalement sur l'optimisation des pratiques agricoles « classiques » pour favoriser l'efficience des intrants, par exemple grâce aux outils d'aide à la décision (Guichard et al., 2017), alors qu'une réduction importante de l'usage des pesticides nécessiterait des changements profonds et la reconception des systèmes de culture dans leur globalité (Jacquet, Butault, & Guichard, 2011).

4. Les couverts végétaux comme alternative

a) Les couverts végétaux pour limiter les adventices

Le principe des couverts végétaux est de remplacer la végétation spontanée par une couverture végétale choisie. La limitation des adventices par les plantes couvre-sol est possible selon deux mécanismes : la compétition pour la lumière, l'eau et les nutriments, et la libération de substances allélopathiques.

L'efficacité du couvert dans la gestion des adventices dépend principalement du développement du couvert. Ainsi, la densité d'adventices diminue avec l'augmentation de la biomasse ou du recouvrement du sol par un couvert d'interculture (Métais, 2015; Quennesson & Oste, 2017). La croissance des adventices sera également impactée, puisque plus le couvert sera dense et couvrant, plus les adventices seront petites (Quennesson & Oste, 2017). Les couverts peuvent enfin limiter la capacité de production de fleurs et de graines des adventices. Il a notamment été montré que la masse moyenne de fleurs et de graines produite par pied de chénopode blanc (*Chenopodium album*), l'une des principales adventices, était réduite pour un recouvrement ou une biomasse importante du couvre-sol (Quennesson & Oste, 2017).

L'interception de la lumière par les plantes couvre-sol est l'un des facteurs les plus importants dans leur capacité à limiter les adventices (Tschuy et al., 2014). Il a été montré qu'une importante interception de la lumière par les plantes couvre-sol était corrélée à une faible biomasse ou une suppression des adventices (Kruidhof, Bastiaans, & Kropff, 2008; Steinmaus et al., 2008). Ce mécanisme implique à la fois une réduction de la quantité et une modification de la qualité de la lumière arrivant au sol (Mohammadi, 2012).

L'allélopathie désigne les interactions chimiques entre plantes, via la production de substances au niveau de la rhizosphère (De Raïssac, Marnotte, & Alphonse, 1998). On parle généralement d'allélopathie pour désigner le mécanisme par lequel une plante limite le développement des autres espèces grâce à la production de composés biochimiques. Ces composés peuvent réduire la survie des graines d'adventices (dormantes ou non) et limiter ou retarder leur germination.

Si les plantes couvre-sol limitent efficacement les adventices, elles sont, de la même façon, susceptibles d'entrer en compétition avec la culture lorsqu'elles sont utilisées sur le rang ou l'inter-rang. Typiquement, un couvert suffisamment compétitif pour limiter les adventices limitera aussi la croissance de la culture et le rendement (Mohammadi, 2012). En général, dans les systèmes sans irrigation, il devient

compliqué d'utiliser des couverts végétaux. Cependant, en culture annuelle, des résultats satisfaisants ont pu être obtenus avec des couverts implantés après l'émergence de la culture (Mohammadi, 2012).

b) Les couverts végétaux pour favoriser la biodiversité et la régulation des bioagresseurs

L'utilisation des produits phytosanitaires conduit également à une perte de la biodiversité (Simon, Bouvier, Debras, & Sauphanor, 2010). Outre la toxicité de ces produits, le désherbage provoque la diminution des ressources alimentaires et d'habitat pour la faune. Pourtant, la biodiversité faunistique peut fournir d'importants services écosystémiques, comme la régulation des bioagresseurs. Ainsi, il a été montré qu'en agissant sur la gestion des plantes dans les vergers, il était possible d'obtenir un effet positif sur le contrôle des bioagresseurs dans la plupart des cas (Simon et al., 2010). Les couverts végétaux pourraient ainsi être exploités pour favoriser les ennemis naturels des ravageurs des cultures (effet top-down), au même titre que d'autres infrastructures agroécologiques comme les haies et les bandes fleuris. De même, certaine plantes couvre-sol peuvent participer à la protection des cultures par un effet répulsif sur les ravageurs (effet bottom-up) (Charles, Montfort, & Sarthou, 2012). Cependant, les espèces ou assemblages d'espèces favorisant le contrôle des principaux ravageurs ne sont pas encore clairement identifiés. Il est donc nécessaire de caractériser le cortège entomologique associé aux différents couvres-sol.

5. Le projet Placohb

Le projet Placohb, « Plantes couvre-sol comme contribution au contrôle des adventices et à la promotion de la biodiversité », a pour but d'évaluer l'utilisation de plantes couvre-sol afin de développer des solutions alternatives au désherbage chimique ou mécanique. Initié par le RMT Biodiversité et Agriculture, le projet Placohb s'intègre au plan Ecophyto et bénéficie d'un financement de l'Agence Française de la Biodiversité et du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation.

Ce projet national, porté par Alain Ferre de l'Arexhor Pays de la Loire, réunit 16 partenaires (instituts techniques et de recherche, établissements d'enseignement agricole, chambre d'agriculture, semenciers…) autours de 4 actions principales.

L'action 1 vise à caractériser et sélectionner des plantes couvre-sol pour obtenir des gammes adaptées aux différentes situations d'usage. L'action 2 cherche à définir les modalités d'implantation et d'entretien des couverts. L'action 3 a pour but de déterminer l'impact des plantes couvre-sol sur les adventices, sur la biodiversité, sur les cultures et sur le sol. Enfin, l'action 4 a pour objectif de créer et diffuser des outils pédagogiques sur l'utilisation des couvre-sol, auprès des acteurs des différentes filières.

6. Objectif de l'étude

Cette étude a pour objectif de valider la pertinence de 6 mélanges d'espèces couvre-sol dans le cadre de la gestion des adventices sur 3 situations différentes d'usage : en inter-rang et rang de fruitiers, en inter-tunnel d'horticulture et en zone stabilisée gravillonnée. L'essai permettra également de caractériser la biodiversité en arthropodes associée aux couverts, et notamment de déterminer s'ils favorisent la présence d'auxiliaires. Enfin, l'impact des plantes couvre-sol sera évalué sur deux bioagresseurs principaux du verger, le carpocapse et le puceron. Ainsi, cette expérimentation correspond plus particulièrement à l'action 3 du projet Placohb.

Tableau 1 : Composition des couverts

Situation	Couvert	Espèces	Composition (% individus)
Verger clos conservatoire			
Inter-rang et rang de ligneux	Couvert n°1 – Pollinisateurs	*Symphytum officinale* (grande consoude)	10 %
		Fagopyrum esculentum (phacélie)	45 %
		Phacelia tanacetifolia (sarrasin)	45 %
	Couvert n°2 – Auxiliaires arboriculture	*Mentha piperita* (menthe poivrée)	10 %
		Tanacetum vulgare (tanaisie commune)	15 %
		Borago officinalis (bourrache officinale)	15 %
		Brassica napus (colza fourrager)	25 %
		Medicago lupulina (luzerne lupuline)	35 %
	Couvert n°3 – Agronomique	*Avena sativa* (avoine cultivée)	25 %
		Raphanus sativus (radis fourrager)	25 %
		Vicia sativa (vesce commune)	50 %
	Couvert n°4 – Kabelis arboriculture	*Plantago coronopus* (plantain corne de cerf)	5 %
		Trifolium repens 'Huia' (trèfle blanc nain Huia)	10 %
		Lolium perenne (ray grass anglais)	15 %
		Festuca rubra (fétuque rouge demi-traçante)	30 %
		Poa pratensis (pâturin des prés)	40 %
Exploitation horticole			
Inter-tunnel	Couvert n°5 – Auxiliaires horticulture	*Linum annua* (lin annuel)	5 %
		Linum perenne (lin vivace)	8 %
		Leucanthemum vulgare (grande marguerite)	32 %
		Achillea millefolium (achillée millefeuille)	55 %
Zone stabilisée	Couvert n°6 – Kabelis viticulture sol sec	*Hieracium pilosella* (piloselle)	2,5 %
		Plantago coronopus (plantain corne de cerf)	7,5 %
		Festuca rubra (fétuque rouge demi-traçante)	40 %
		Festuca ovina (fétuque ovine)	50 %

II. MATERIEL ET METHODE

Six mélanges de plantes couvre-sol sont testés, dans trois situations d'usage différentes (Tableau 1). Quatre couverts sont implantés en zone cultivée, en inter-rang de ligneux sur un verger de conservation. Les deux autres couverts sont implantés en zones non cultivées sur une exploitation horticole, un premier en inter-tunnel de maraîchage, le second en zones stabilisées gravillonnées.

A. Choix des couverts et description des parcelles implantées

1. Verger de conservation

a) Description de la parcelle

Le verger de conservation a été implanté sur une parcelle de 2,7 ha au cours des années 2009 à 2016. Il comporte 64 essences de fruitiers différentes, principalement des pommiers (pour plus de la moitié), mais aussi des poiriers, des pruniers, des cerisiers, des pêchers, des cognassiers et des abricotiers. Le verger est divisé en deux parties, l'une où les arbres sont implantés en rangs (verger libre), l'autre où ils sont implantés en bosquet de 4 à 16 arbres (verger clos). L'implantation des couverts végétaux est réalisée dans les bosquets du verger clos (Tableau 2 ; Annexe 2). L'ensemble du verger est labellisé selon le référentiel « Ecojardin » pour la gestion écologique des espaces verts. Dans cette optique, plusieurs aménagements ont déjà été réalisés, tels que la plantation de haies bocagères, la construction de murs en pierre sèche, l'aménagement d'un cours d'eau adjacent à la parcelle (restauration des berges) et l'installation de bandes fleuries et de ruches.

b) Couverts testés

Sur le verger, le projet Placohb fait suite à une précédente étude commandité par le lycée pour la sélection de couverts végétaux adaptés aux vergers écologiques, qui à été réalisée par le partenaire scientifique AgroSup Dijon en 2014 dans le cadre du projet BiodivEA (Henry, Levert, Mousseron, Pelé, & Picard, 2014). À la suite de cette étude, 3 couverts végétaux ont été retenus pour poursuivre leur évaluation en inter-rang et rang de ligneux sur le verger conservatoire du lycée, dans le cadre du projet Placohb (Tableau 1). En plus de la maîtrise des adventices, chacun de ces couverts a

Tableau 2 : Surfaces semées et densité de semis des couverts

Couvert	Densité de semis	Zone précise	Surface de la zone (m²)	Surface par couvert (m²)
Verger clos conservatoire				
Couvert n°1 – Pollinisateurs	6 g/m²	Bosquet A	452,4	706,9
		Bosquet F	254,5	
Couvert n°2 – Auxiliaires arboriculture	6 g/m² *	Bosquet E	314,2	409,2
		Bosquet G	95	
Couvert n°3 – Agronomique	6 g/m²	Bosquet D	380,1	458,6
		Bosquet C	78,5	
Couvert n°4 – Kabelis arboriculture	10 g/m²	Bosquet B	132,7	132,7
Total			***1707,4***	
Exploitation horticole				
Couvert n°5 – Auxiliaires horticulture	6 g/m²	Inter-tunnel 1-2	60	120
		Inter-tunnel 2-3	60	
Couvert n° 6 – Kabelis viticulture sol sec	10 g/m²	Petits gravillons	75	449
		Gros gravillons	374	
Total			***569***	

* Menthe poivrée et tanaisie : 5,3 mini-mottes/m² de chaque

une orientation secondaire spécifique : attraction des pollinisateurs (couvert n°1), attraction des auxiliaires du verger (couvert n°2) et intérêt agronomique pédagogique (couvert n°3). Un couvert supplémentaire (couvert n°4), développé pour l'arboriculture par la société Kabelis, est également évalué au verger (Tableau 1).

2. Exploitation horticole

a) Description de la parcelle

L'exploitation horticole comprend 3000 m² de serres et tunnels à vocation de production et support pédagogique du lycée. On y produit des plantes ornementales en production biologique intégrée ainsi que des plants maraîchers et aromatiques en agriculture biologique. On y retrouve également 400 m² de pépinière pour la production d'arbustes. Les couverts testés sur l'exploitation horticole sont implantés sur des zones non cultivées : sur les espaces entre 3 tunnels de maraîchage et sur des zones stabilisées gravillonnées, aux abords des installations de l'exploitation (Tableau 2).

b) Choix des couverts testés

En inter-tunnel, un mélange de 4 espèces (couvert n°5) est sélectionné selon l'expérience du chef d'exploitation, dans l'optique d'avoir des espèces compétitives pour les adventices mais aussi attractives pour la biodiversité, esthétiques, et non invasives (Tableau 1).

Le couvert Kabelis viticulture sol sec (couvert n°6) est proposé par la société Kabelis dans l'objectif de développer un couvert adapté aux conditions sèches, comme en viticulture et sur les zones non cultivées (Tableau 1). Il est testé sur deux zones stabilisées, l'une à petits gravillons et l'autre à gros gravillons.

B. Conduite des couverts

1. Implantation des couverts

Le couvert Kabelis viticulture sol sec est implanté le 8 mars 2018 par hydromulching (hydroseeding associé à un mulch), après désherbage et ameublissement des premiers centimètres du sol. L'hydroseeding consiste à projeter les semences sur la zone à

couvrir à l'aide d'un appareil à propulsion hydrolique (ici un Hydroseeder FINN® T30S). La préparation projetée comprend l'hydro-mulch JEVI, constitué de fibres recyclées de cellulose et de bois et d'additifs fertilisants. Ce mulch permet l'implantation de la végétation sur sols pauvres et en conditions difficiles. L'hydromulching est réalisé par le prestataire Euro-Tec.

Tous les autres couverts sont implantés par semis à la volée en avril. Après travail du sol, le lit de semence est affiné à la griffe, puis, après semis, le sol est tassé au rouleau pour favoriser le contact avec les graines. Au verger, un faux semis a préalablement été réalisé à l'automne précédent pour réduire le stock de graines d'adventices. En inter-tunnel, le faux semis est réalisé juste avant le semis du couvert. Un arrosage est assuré aux couverts après implantation en l'absence de pluies.

Les couverts sont semés à la densité de 6 g/m², ou 10 g/m² pour les couverts n°4 et 6 (Tableau 2). Ces densités correspondent au double de la densité préconisée initialement. Ce choix a été fait suite à une faible réussite de l'implantation des couverts les années précédentes lors du projet BiodivEA. Ces précédents essais ont également montré que le semis ne convenait pas pour la menthe poivrée et la tanaisie commune dans le couvert n°2 auxiliaires arboriculture, c'est pourquoi ces deux vivaces sont produites séparément en mini-mottes (semées en janvier) et plantées lors du semis.

2. Entretien des couverts

L'absence d'entretien est l'une des caractéristiques recherchée pour les couverts testés. Pour cela, les interventions sont limitées à une fauche ou un broyage des couverts en fin d'été – début d'automne, après la montée en graine des espèces annuelles qui permettra la constitution du stock semencier pour la reprise du couvert.

Pour favoriser cette reprise, un griffage des premiers centimètres du sol sera réalisé au printemps suivant. Le griffage doit rester superficiel pour ne pas perturber la reprise des vivaces. Il peut être suivi d'un sursemis si le réensemencement naturel n'est pas suffisant, par exemple en cas de faible floraison.

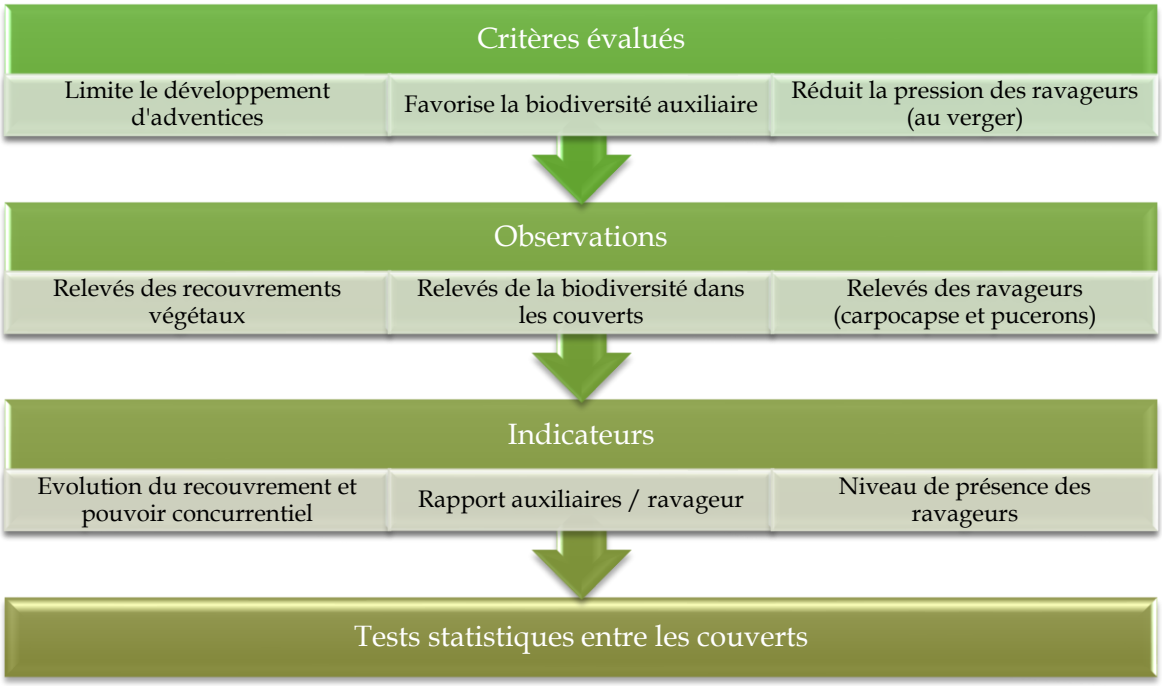


Figure 2 : processus d'évaluation des couverts

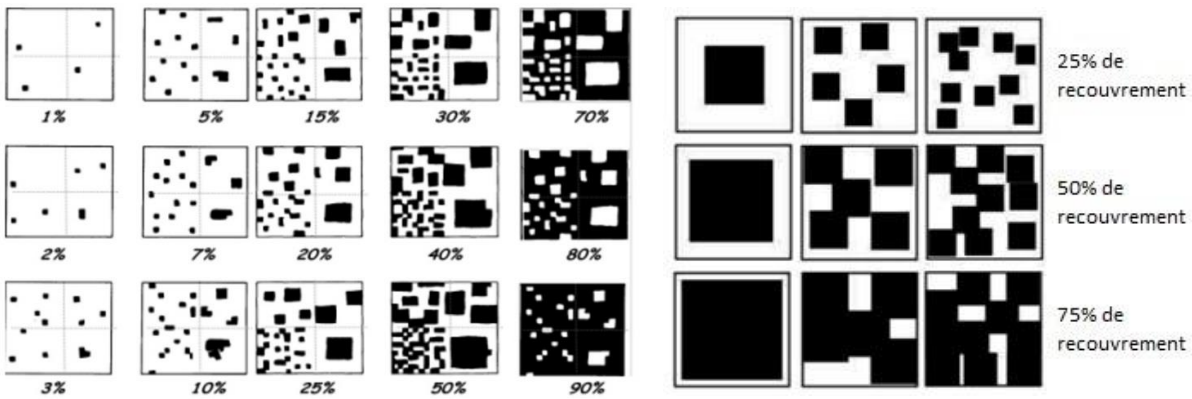


Figure 3 : Echelle de recouvrement des végétaux.

C. Évaluation des couverts

1. Critères d'évaluation

Les mélanges couvre-sol sont évalués sur 2 caractéristiques principales, leur capacité à limiter le développement des adventices, qui sera déterminée en fonction du recouvrement des couvre-sol et des adventices, et leur potentiel pour favoriser une biodiversité favorable aux cultures, évalué par l'observation de la biodiversité associée au couvert. Au verger, l'influence des couverts sur la présence de carpocapses et de pucerons est également évaluée grâce à des relevés de ces ravageurs.

2. Échantillonnage

Pour chaque couvert, les observations sont effectuées sur 3 placettes d'échantillonnage de 1m² chacune, placées dans une même zone et en évitant les bordures (Annexe 2 et Annexe 1). Au verger, 3 placettes témoins de 1m² sont établies par binage en dehors des bosquets (Annexe 2). Les placettes situées sur l'exploitation sont entourées d'une zone de 50 cm de large, non semée après travail du sol, qui correspond à la zone témoin (Annexe 1). Dans les zones stabilisées, le semis par hydroseeding s'étant effectué uniformément, les zones témoins autours des placettes sont reconstituées en sarclant la surface pour supprimer l'hydromulching et le semis.

3. Évaluation des recouvrements végétaux et de la compétitivité des couverts

La vitesse d'implantation des couverts et leur compétitivité face aux adventices sont évaluées en réalisant des relevé floristiques tous les mois pendant 3 mois après semis du couvert, puis tous les 3 mois. Ces relevés consistent à déterminer les espèces végétales présentes sur les placettes ou les zones témoin, puis à évaluer l'abondance de chacune en estimant visuellement le pourcentage de recouvrement (c'est-à-dire la surface de projection de la partie aérienne des plantes sur le sol) à l'aide d'une échelle de recouvrement (Figure 3). Pour mieux rendre compte des étages de végétation, les recouvrements de chaque espèce et du sol nu sont estimés individuellement sur 100%, puis recalculés proportionnellement pour ramener leur somme à 100%.

Tableau 3 : Niveau d'infestation des fruits par le carpocapse Cydia pomonella.

Niveau	**Description**
Absence	Pas de symptôme au champ.
Faible	Un nombre limité de fruits est atteint (1-2%).
Moyen	Environ 2 % des fruits sont atteints.
Élevé	Plus de 2 % des fruit sont atteints.

Tableau 4 : Niveau de présence des pucerons

Niveau	**Description**		
	Puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*)	Puceron lanigère (*Eriosoma lanigerum*)	Puceron vert du pommier (*Aphis pomi*)
Absence	Pas de présence.		
Inférieur au seuil	Faible niveau d'infestation :		
	Moins de 5 % d'organes colonisés.	Moins de 8-10 % d'organes colonisés.	Moins de 10 % d'organes colonisés.
Supérieur au seuil	Plus de 5 % d'organes colonisés.	Plus de 10 % d'organes colonisés.	Plus de 10 % d'organes colonisés.

La compétitivité des couverts face aux adventices est déterminée selon le recouvrement des espèces du couvert par rapport à celui des espèces adventives. Une transformation de ce rapport par le logarithme népérien permet d'obtenir un indicateur du pouvoir concurrentiel compris entre 0 et 1 (Lahlou, 2018), ce qui permet de comparer facilement l'efficacité de plusieurs couvre-sol. On estime qu'un couvert est concurrentiel lorsque l'indicateur est supérieur à 0,33, ce qui correspond à un pourcentage de recouvrement similaire entre couvre-sol et adventices.

Encadré 1 : calcul de l'indicateur de pouvoir concurrentiel d'un couvert

$$Pouvoir\ concurrentiel = \frac{ln\left(ln\left(\frac{\%\ recouvrement\ du\ couvert}{\%\ recouvrement\ des\ adventices + 1} + 1\right) + 1\right)}{ln(ln(50) + 1)}$$

4. Évaluation de la biodiversité associée au couvert

La biodiversité aérienne associée aux couverts est évaluée sur chaque placette par des relevés faunistiques effectués tous les mois en mai, juin et juillet. Les relevés sont réalisés par observation visuelle des insectes. Durant environ 15 minutes par placette, les espèces ou types d'insectes rencontrés sont notés et dénombrés. Les observations sont réalisées en commençant par les insectes volant au-dessus de la végétation, puis ceux dans la végétation et jusqu'au sol.

Dans le cas où l'identification sur le terrain n'est pas possible, un spécimen de l'insecte est photographié ou prélevé dans un tube numéroté pour une identification ultérieure et le numéro est reporté sur la fiche de relevé.

5. Évaluation de l'effet des couverts sur les ravageurs du verger

La présence de deux des principaux bioagresseurs du pommier, le carpocapse et le puceron, est évaluée par assignation d'une classe d'abondance qualitative en fonction du pourcentage d'organes infestés (Tableau 3 et Tableau 4), selon le protocole QuantiPest « Characterisation of main pests on apple tree » (Ricciolini, s. d.). Les contrôles sont effectués tous les 15 jours à partir de mi-mai sur tous les pommiers des bosquets implantés des couvre-sol au verger clos (35 arbres) et sur 10 pommiers du

Figure 4 : Evolution du pourcentage relatif de recouvrement du sol, du couvre-sol et des adventices au cours du temps au verger (données moyennes sur 3 placettes par couvert).

verger libre éloignés du verger clos (témoin). Les dégâts dus au carpocapse *Cydia pomonella* sont observés par un contrôle visuel sur 20 fruits par arbre. On observe la présence ou l'absence des pucerons *Dysaphis plantaginea* (puceron cendré), *Eriosoma lanigerum* (puceron lanigère) et *Aphis pomi* (puceron vert du pommier) sur 5 tiges et 5 fruits sélectionnés aléatoirement par arbre contrôlé. En raison de la petite taille du verger, le nombre d'organes contrôlés par modalité est réduit par rapport à la recommandation normale qui est de 100 organes par modalité, à raison de 2 par arbre sur 50 arbres (Blanc, 1988; Orts, Giraud, & Darthout, 2006).

6. Analyse statistique

Une analyse statistique des données recueillies est effectuée avec le logiciel R (R Core Team, 2017). Les différentes modalités sont comparées par un test de Kruskal-Wallis avec un risque d'erreur de 5%, suivit d'un test de Dunn en post-hoc. Ce test s'applique pour la comparaison d'échantillons indépendants et est un test non paramétrique car les échantillons, de faible effectif (3 répétitions par modalité), ne permettent pas de vérifier la distribution normale des données.

III. RESULTATS

A. Gestion des adventices par les couverts

1. Installation et développement des couverts

La Figure 4 montre l'évolution des recouvrements végétaux (couvre-sol et adventices) et du sol nu au cours du temps au verger. Pour les couverts n°1 et 2 on observe un début d'installation des plantes couvre-sol dès le premier mois après semis, avec respectivement un recouvrement moyen de 10,69% (σ = 3,07%) et 21,02% (σ = 6,59%). Puis ces couverts se développent rapidement au cours du deuxième mois, atteignant un recouvrement moyen de 79,36% (σ = 15,94%) pour le couvert n°1 et 98,84% (σ = 1,03%) pour le n°2.

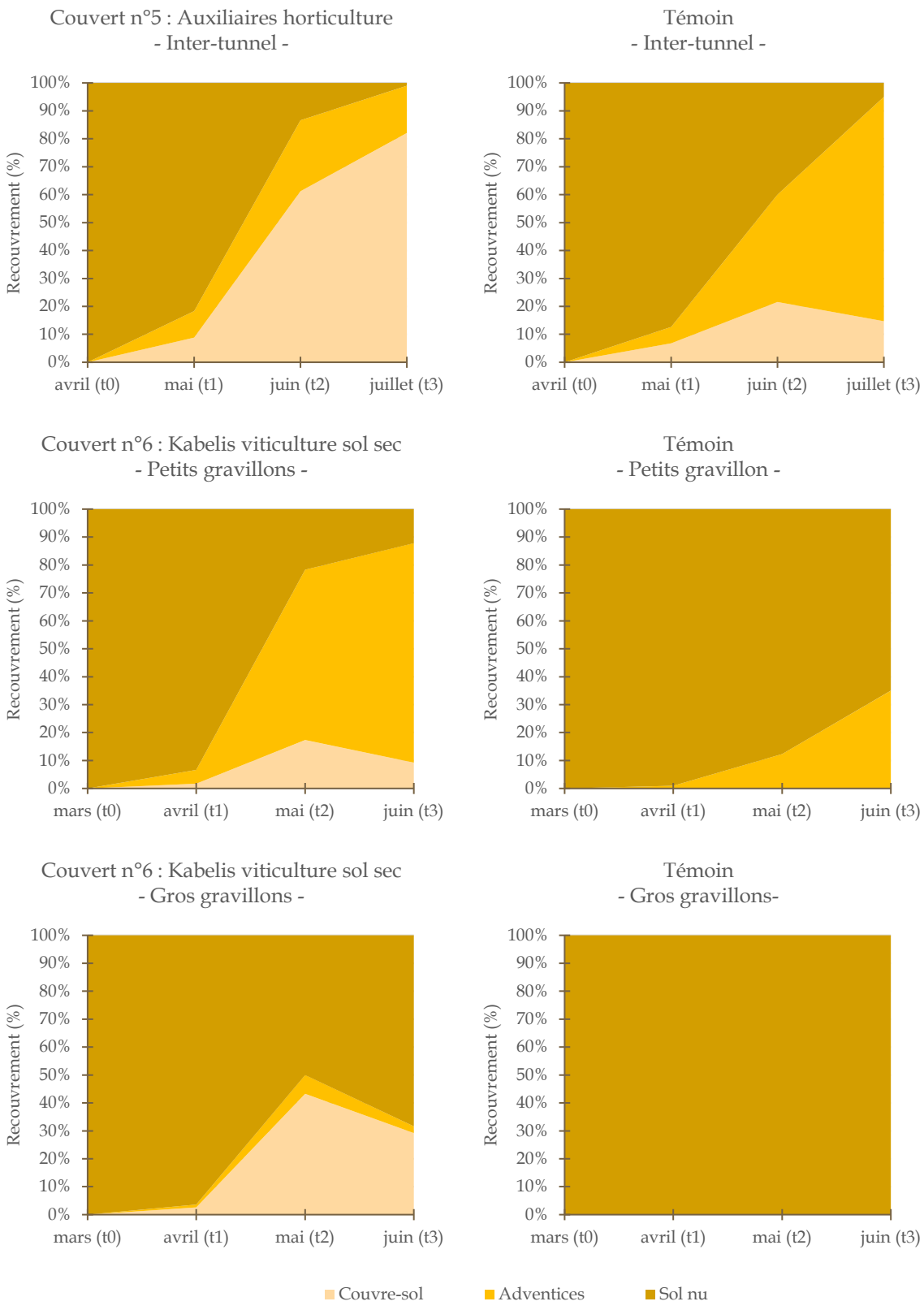


Figure 5 : Evolution du pourcentage relatif de recouvrement du sol, du couvre-sol et des adventices au cours du temps sur l'exploitation (données moyennes sur 3 placettes par couvert).

À l'inverse, les couvert n° 3 et 4 s'installent difficilement, avec des recouvrements moyens proches de zéro le premier mois (0,34% ; σ = 0,30% pour le couvert n°3 et 0,17% ; σ = 0,29% pour le n°4), puis un développement limité les mois suivants. On remarque cependant que l'opération de fauche du couvert n°4 réalisée lors du relevé de juillet (3 mois après semis) permet de mettre en évidence un développement conséquent du couvert, avec un recouvrement moyen de 66,82% (σ = 14,98%). Pour l'ensemble des couverts du verger, on retrouve une diminution du recouvrement des couvert entre les mois de juin et juillet. En particulier, les espèces du couvert n°1 voient leur recouvrement diminuer de moitié en faveur du développement des adventices qui passent de 19,97% à 56,58%. Pour les autres couverts du verger, c'est la proportion de sol nu qui augmente, les recouvrements d'adventices ne variant quasiment pas.

La Figure 5 montre l'évolution des recouvrements végétaux (couvre-sol et adventices) et du sol nu au cours du temps sur l'exploitation. Comme pour les couverts n°1 et 2, l'installation du couvert n°5 est visible le premier mois mais le recouvrement reste faible (en moyenne 8,80% ; σ = 6,16%). Le couvert se développe réellement les deux mois suivants (de mai à juillet) pour atteindre 82,03% du recouvrement (σ = 15,14%). On remarque que des espèces du couverts n°5 se développent spontanément sur le témoin (l'achillée millefeuille principalement), mais dans une proportion trop faible pour limiter les adventices qui atteignent un recouvrement moyen de 80,30% (σ = 4,68%) en juillet, alors qu'elles sont limitées à 16,97% sur les placettes semées (mais avec un écart-type important, σ = 15,31%). Le couvert n°6 s'implante difficilement, en particulier sur les petits gravillons où il ne dépasse pas 17,31% du recouvrement (σ = 4,71%) alors qu'il monte jusqu'à 43,25% (σ = 12,80%) sur gros gravillons. Les adventices se sont développées sur petits gravillons avec un recouvrement moyen de 78,58% en juin (σ = 29,12%) principalement représenté par la luzerne lupuline (*Medicago lupulina*). A l'inverse, les adventices sont peu présentes sur gros gravillons, avec un recouvrement moyen maximal en mai de 6,75% (σ = 8,60%). Cependant, il n'y a pas de développement de la végétation sur le témoin correspondant, ce qui suggère que les adventices ont été limitées par d'autres facteurs que le couvert implanté.

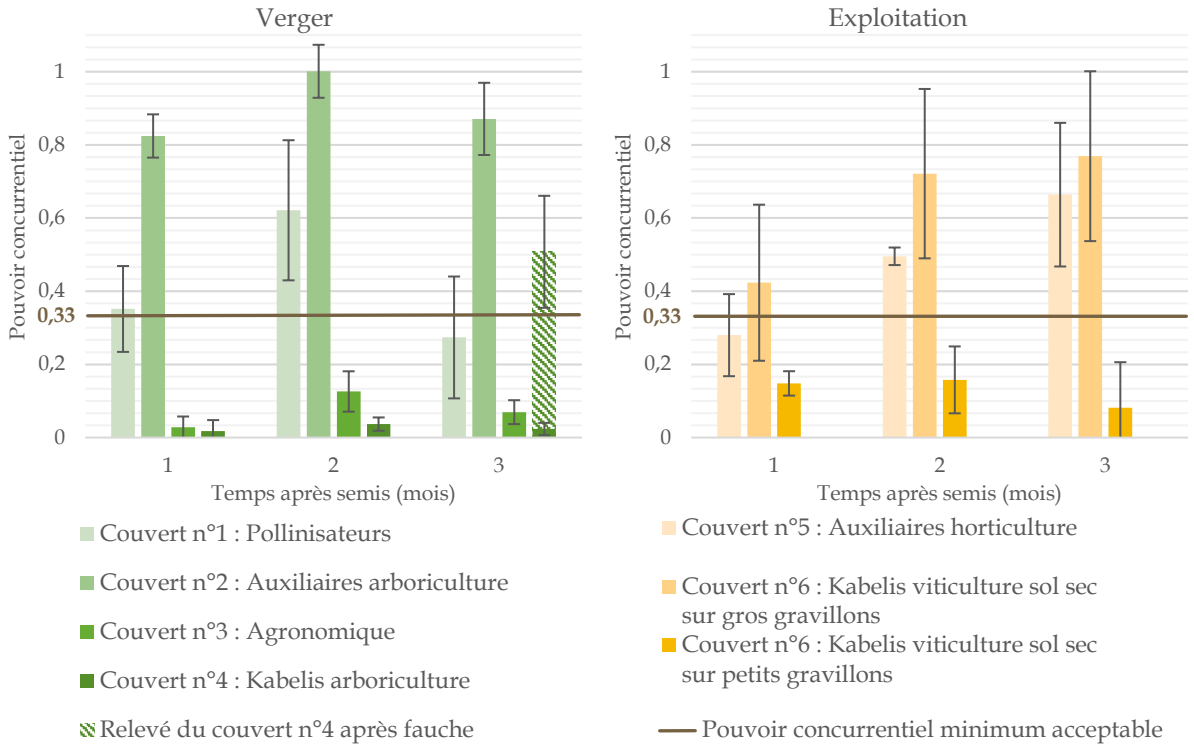


Figure 6 : Pouvoir concurrentiel des couvre-sol au cours du temps (données moyennes sur 3 placettes par couvert).

Tableau 5 : Diversité spécifique en arthropodes pour les couverts ayant un recouvrement supérieur à 50%. Données moyennes et écarts-types sur les relevés effectués sur 3 placettes de 1m² par modalités.

Juin	
Témoin végétation spontanée verger	12 sp./m² σ = 1
Couvert n°1 : Pollinisateurs	11 sp./m² σ = 1
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	14,67 sp./m² σ = 1,53
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	7,67 sp./m² σ = 4,62

Juillet	
Témoin végétation spontanée verger	12,33 sp./m² σ = 1,53
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	12,33 sp./m² σ = 1,53
Couvert n°4 : Kabelis arboriculture	13 sp./m² σ = 1,73
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	10,67 sp./m² σ = 2,08

2. Pouvoir concurrentiel des couverts

La Figure 6 montre le pouvoir concurrentiel des couverts à chaque relevé. Le couvert n°2 présente un excellent pouvoir concurrentiel et une efficacité durable au cours du temps. Le couvert n°1, bien qu'ayant une bonne performance le deuxième mois, n'est plus concurrentiel au troisième mois. Les couverts n°3 et 4 ne sont pas concurrentiels car ils restent en dessous de la limite de 0,33. Cependant, après fauche (qui a éliminé les étages plus hauts de végétation adventive) le couvert n°4 se montre concurrentiel. Sur l'exploitation, le couvert n°5 et le n°6 implanté sur gros gravillons se montrent concurrentiels à partir du deuxième mois après semis (dès le premier mois pour le n°6 mais avec un écart-type important). Cependant, comme mentionné précédemment, les adventices ne se sont pas développées pour le témoin sur gros gravillons, le pouvoir concurrentiel du couvert n°6 ne peut donc pas être pris en compte pour cette condition. De plus, sur petits gravillons, le couvert n°6 se montre non concurrentiel.

B. Biodiversité associée aux couverts

À partir des relevés faunistiques effectués sur les placettes, la biodiversité associée aux couverts est évaluée pour les couverts ayant un recouvrement supérieur à 50%, c'est-à-dire les couverts n°1, 2 et 5 en juin et n°2, 4 (après fauche) et 5 en juillet. Les couverts sont comparés entre eux et au témoin végétation spontanée.

En juin, la richesse spécifique des couverts n'est pas significativement différente du témoin qui présente 12 espèces par m² en moyenne (Tableau 5). Le couvert n°2 a la richesse spécifique la plus élevée, avec en moyenne 14,67 espèces par m², ce qui est significativement plus élevé que les couverts n°1 et 5. Le couvert n°5 a la richesse spécifique la plus faible, de 7,67 espèces par m² en moyenne, mais avec une variabilité importante entre les placettes. Au mois de juillet, les richesses spécifiques sont très proches entre toutes les modalités et ne présentent pas de différences significatives.

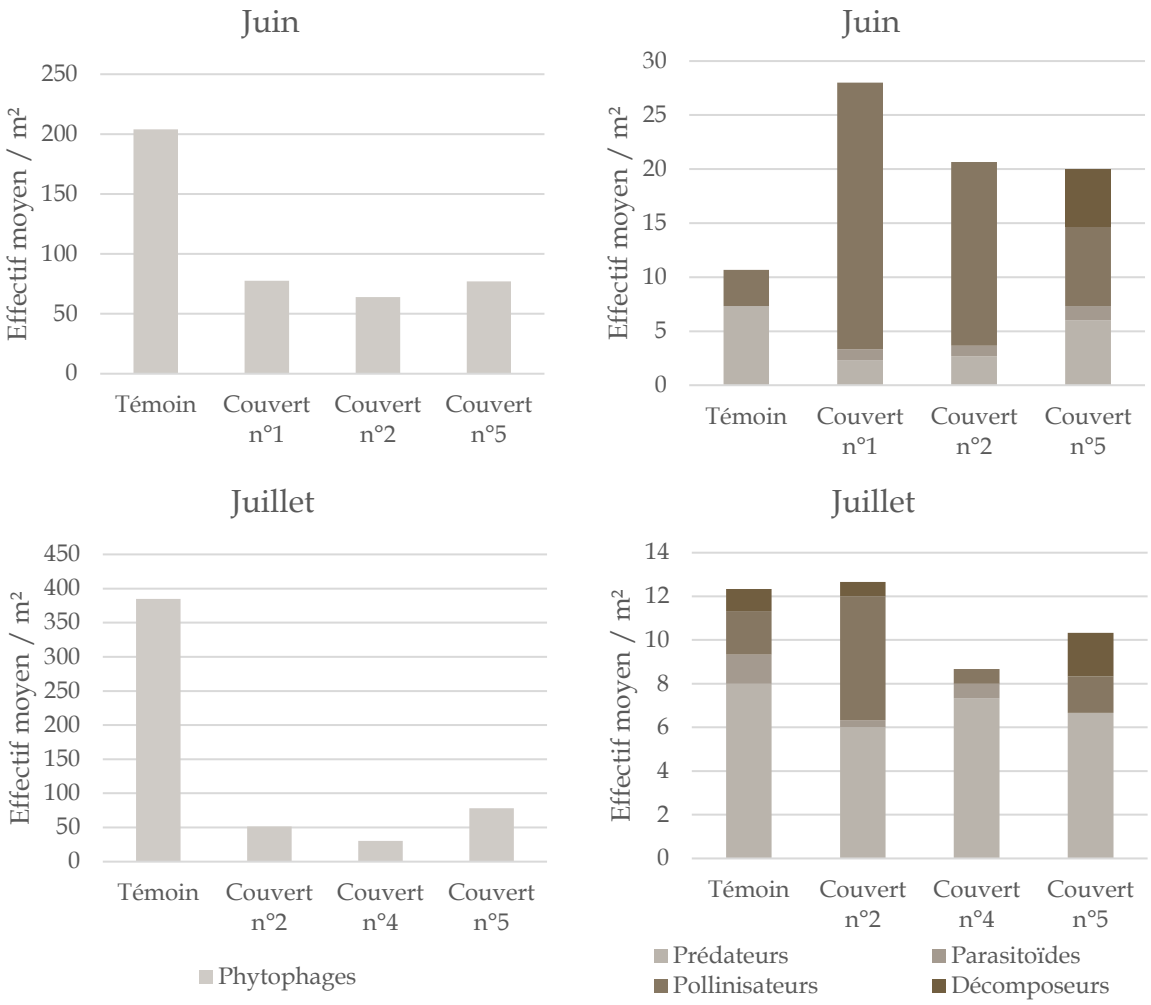


Figure 7 : Effectifs d'arthropodes évalués visuellement. Témoin : végétation spontanée ; Couvert n°1 : Pollinisateurs ; Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture ; Couvert n°4 : Kabelis arboriculture ; Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture.

La Figure 7 présente les effectifs d'arthropodes par couvert aux mois de juin et juillet, en fonction de leur rôle écologique (données en Annexe 4). Les phytophages sont considérablement plus abondants que les autres catégories, ce qui est dû à la présence de colonies de pucerons à forts effectifs. En juin comme en juillet, les effectifs de phytophages sont les plus abondants pour la condition témoin, cependant la différence n'est significative qu'en juillet pour les couverts n°2 (p-value = 0,0391) et n°4 (p-value = 0,0345).

En juin, les pollinisateurs sont les plus abondants sur le couvert n°1 avec en moyenne 24,67 individus par m² et sur le couvert n°2 (17 ind./m²). La présence de pollinisateurs pour ces 2 conditions est significativement plus élevée que le témoin qui est la modalité présentant le moins de pollinisateurs avec 3,33 individus pas m² en moyenne (p-value = 0,0061 pour le couvert n°1 et 0,0151 pour le n°2). Le couvert n°1 est également significativement plus riche en pollinisateurs que le n°5 (p-value = 0,0263). Le couvert n°5 n'est pas significativement différent du témoin, ni du couvert n°2. En revanche, il présente significativement plus de parasitoïdes que le témoin, où cette catégorie est absente (p-value = 0,0418). Les prédateurs sont les plus abondants dans la condition témoin (en moyenne 7,33 ind./m²) et significativement plus bas dans les couverts n°1 et n°2 (p-value = 0,0183 et 0,0461 respectivement). L'abondance des prédateurs sur le couvert n°5 est proche du témoin avec 6 individus par m² en moyenne.

En juillet, les arthropodes sont globalement moins abondants qu'en juin, sauf pour le témoin où l'on retrouve notamment près de deux fois plus de phytophages. Le témoin présente également une augmentation de l'abondance des parasitoïdes, alors qu'elle chute pour tous les couverts, elle est ainsi significativement plus élevée sur le témoin que sur les couverts 2 et 5 (p-value = 0,039 et 0,007 respectivement). L'abondance des pollinisateurs chute fortement pour les couverts n°2 et n°5 (avec un effectif moyen respectivement de 5,67 et 1,67 ind./m²), mais reste la plus élevée pour le couvert n°2. Le couvert n°4 est le plus pauvre en pollinisateurs avec en moyenne 0,67 individu par m² (p-value = 0,0092 avec le couvert n°2). Les prédateurs sont plus représentés en juillet qu'en juin, avec une abondance similaire pour toutes les conditions.

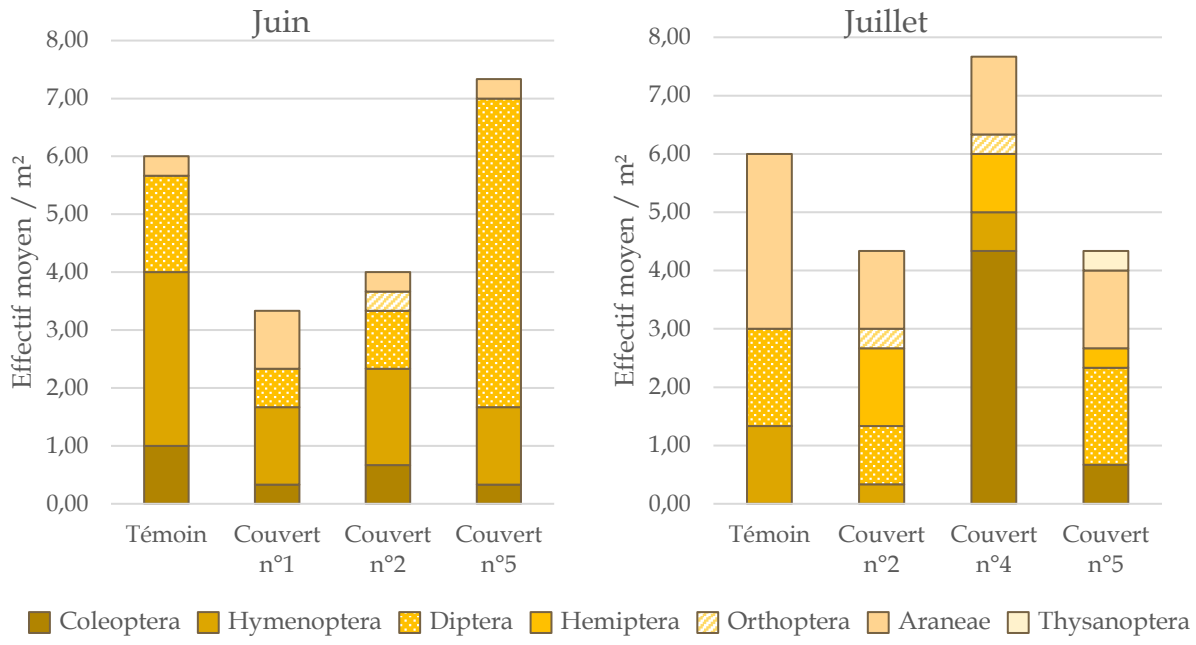


Figure 8 : Effectifs d'ennemis naturels des bioagresseurs par ordre. Témoin : végétation spontanée ; Couvert n°1 : Pollinisateurs ; Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture ; Couvert n°4 : Kabelis arboriculture ; Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture.

La Figure 8 détaille les principaux ordres des ennemis naturels des bioagresseurs (prédateurs et parasitoïdes, données en Annexe 3). L'abondance des ennemis des bioagresseurs en juin est la plus élevée pour le couvert n°5 et la plus basse pour le n°1 (p-value = 0,0416), en juillet, il n'y a pas de différence significative entre traitements.

En juin, le couvert n°5 présente une importante abondance en diptères auxiliaires, exclusivement représentés par la famille des Syrphidae. La présence de cette famille d'auxiliaires est ainsi significativement plus importante pour le couvert n°5 que pour les couverts n°1 (p-value = 0,0037) et n°2 (p-value = 0,0121). En juillet, la présence des Syrphidae chute dans le couvert n°5 et on retrouve un niveau similaire pour toutes les conditions, sauf le couvert n°4 où leur présence est nulle (p-value = 0,04).

En revanche, le couvert n°4 présente une forte abondance de coléoptères, à l'inverse du témoin et du couvert n°2 où leur présence est nulle (p-value = 0,0054). Cet ordre est largement représenté par la famille de Coccinellidae, avec 85% des effectifs, le reste étant des Staphylinidae.

Enfin, en juillet, la présence des hyménoptères participant à la lutte contre les bioagresseurs est significativement plus faible que pour le témoin sur les couverts n°2 (p-value = 0,0389) et n°5 (p-value = 0,007). Les hyménoptères sont plus importants en juin et diminuent considérablement en juillet où leur présence sur l'ensemble des conditions est plus de 10 fois plus faible. Cet ordre est représenté majoritairement par des guêpes parasitoïdes de la famille des Braconidae (60%), des Ichneumonidae (22%) ou des Chalcidoidea (12,5%).

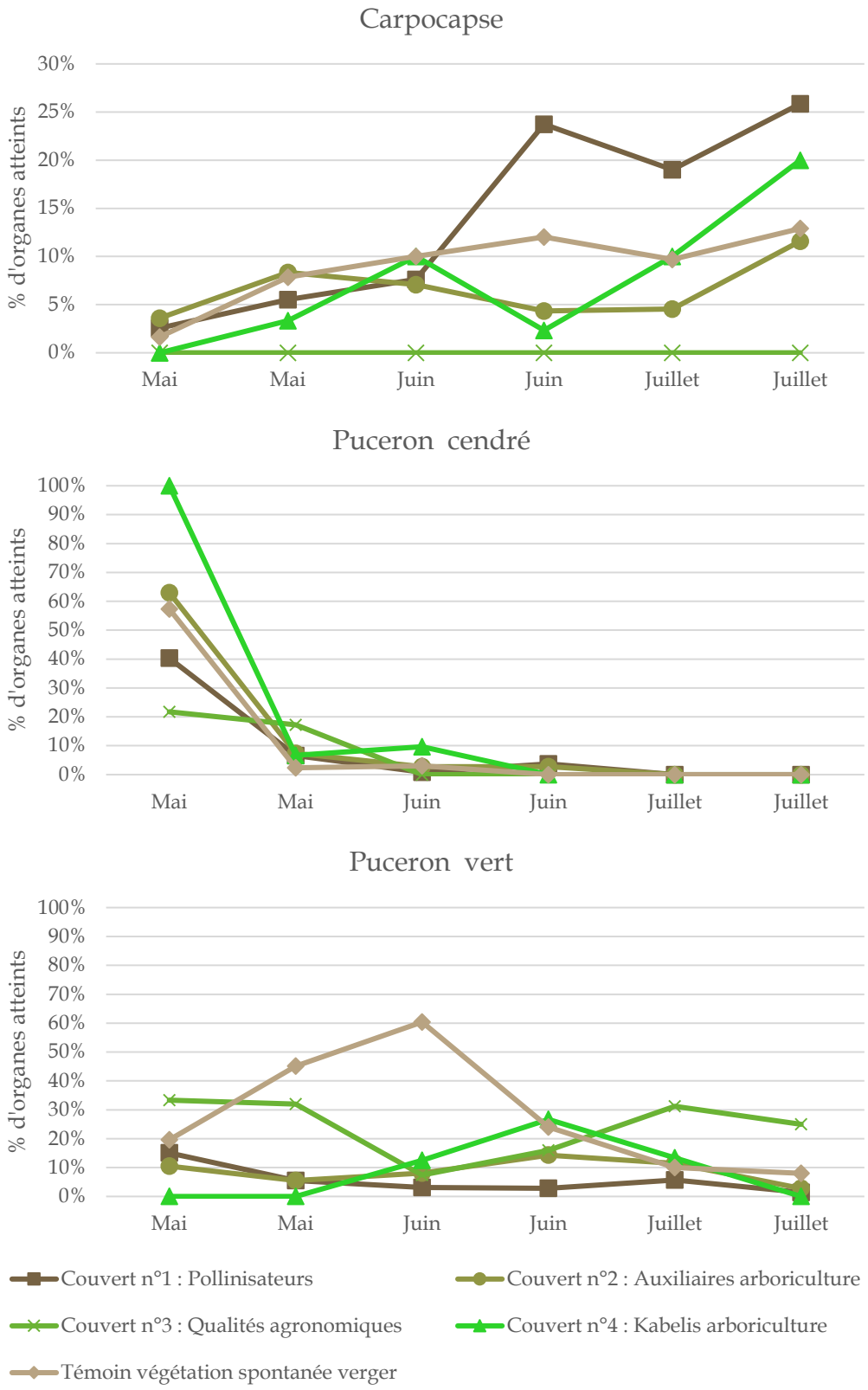


Figure 9 : Evolution de la présence des ravageurs au verger.

C. Effet des couverts sur les ravageurs au verger

La Figure 9 présente l'évolution de la présence du carpocapse et des pucerons cendrés et verts sur les pommiers du verger, en fonction des modalités. Le puceron lanigère n'est pas représenté car il était absent sur la période de comptage. Sur le mois de mai, on n'observe pas de différences significatives entre les modalités, excepté pour les arbres du témoin et du couvert n°3 qui présentent des taux de pucerons verts supérieurs aux autres modalités lors du deuxième relevé de mai (p-value = 0,01).

Au premier relevé de juin, les pommiers sont plus atteints en pucerons cendrés pour le couvert n°4 que pour les autres couverts (p-value = 0), tandis que les témoins sont plus touchés par les pucerons verts (p-value = 0). Au second relevé de juin, les arbres du couvert n°1 sont sensiblement plus infestés par le carpocapse que sur les autre couverts (p-value = 0). Cependant, le niveau d'infestation par le carpocapse est largement supérieur au seuil critique de 2% de fruits atteints pour toutes les modalités, et ce dès le mois de mai. Les arbres du couverts n°3 ne peuvent pas être pris en compte pour l'évaluation du carpocapse car, étant trop jeunes, ils ne portaient pas de fruits.

En juillet, il n'y a pas de différences significatives de la présence des ravageurs entre les modalités. Cependant les arbres du couvert n°3 ont un taux de présence du puceron vert supérieur au seuil critique (10% d'organes atteints), alors que les autres modalités non.

Pour le puceron cendré, les taux de présence sont inférieurs au seuil critique (5% d'organes atteints) pour toutes les modalités dès la mi-juin, a part pour le couvert n°4 qui descend en dessous du seuil fin juin, et le témoin, qui est déjà en dessous du seuil fin mai.

IV. Discussion

A. Efficacité des couverts dans la gestion des adventices

Les couverts n°2 et n°5 se détachent des autres pour leur capacité à limiter les adventices de façon durable. Le couvert n°1 présente de bons résultats dans les premiers temps mais n'est plus suffisamment concurrentiel à partir du troisième mois (juillet). Les températures déjà élevées au mois de juillet et l'absence de pluies ont pu influencer cette diminution du recouvrement. Il semblerait ainsi que le couvert n°1 soit plus sensible aux épisodes de sécheresse et il est possible qu'il présente de meilleurs résultats en conditions irriguées.

De façon générale, la diminution des recouvrements au mois de juillet peut aussi s'expliquer par le fait que les végétaux passent au stade de dissémination des semences et commencent à se dessécher. Par exemple, pour le couvert n°1 qui diminue fortement en juillet, toutes les espèces du mélange sont aux stades floraison à dissémination des semences, tandis que pour le couverts n°2, la bourrache qui assure la majorité du recouvrement (73,03%) en juin à pleine floraison, est relayée par la tanaisie quand elle commence à grainer, puis le colza, la menthe et la luzerne, encore à des stades végétatifs, pourront poursuivre le relais. Il est donc important pour la réussite de la gestion des adventices d'assurer la continuité du recouvrement entre les différentes espèces couvre-sol.

Pour le couvert n°4, la différence des relevés de recouvrement avant et après fauche montre les limites de l'utilisation d'une estimation visuelle du recouvrement, les étages inférieurs de la végétation étant forcément largement sous-estimés lorsque des espèces plus hautes sont présentes. Cependant, ces relevés permettent de considérer que le couvert n°4 n'est pas suffisamment concurrentiel 3 mois après semis. Les prochains suivis de ce couvert permettront d'évaluer si des opérations de fauche régulières pourraient favoriser le développement du couvert par rapport aux adventices jusqu'à le rendre durablement concurrentiel.

Les couverts n°3 au verger, et n°6 sur l'exploitation n'ont pas donné de résultats satisfaisants dans la gestion des adventices. Cela peut être lié à la période de semis ; en effet, pour ces couverts composés principalement de graminées, une implantation en fin d'été ou début d'automne peut être plus adaptée. Le couvert n°6 a de plus été semé en mars alors que les températures étaient encore très froides, ce qui a pu compromettre sa réussite.

B. Promotion de la biodiversité par les couverts

Les couverts n'ont pas conduit à une augmentation de la biodiversité par rapport à un témoin végétation spontanée, que ce soit par rapport à la richesse spécifique ou à l'abondance des arthropodes. Il faut prendre en compte dans ces résultats que de nombreuses actions favorisant la biodiversité sont déjà pratiquées sur le site, telles que la lutte raisonnée ou biologique, la fauche tardive et la présence de haies bocagères, d'abris à insectes et de ruches.

En revanche, des différences de fonctionnalité de la communauté d'arthropodes se dégagent entre couverts. Notamment, les phytophages étaient globalement moins présents dans les couverts que sur le témoin. Les résultats ont permis de valider la capacité du couvert n°1 à attirer les insectes pollinisateurs. Le couvert n°2, qui a été étudié pour attirer les auxiliaires, s'est montré performant pour les pollinisateurs également, mais n'a pas montré une capacité à attirer les ennemis des bioagresseurs plus que les autres couverts ou que la condition témoin. En revanche le couvert n°5, également étudié pour attirer les auxiliaires, présentait la plus forte présence d'ennemis des bioagresseurs en juin, grâce à la présence de syrphes. Enfin, le couvert n°4 proposé par la société Kabelis pour l'arboriculture se détache des autres modalités par son abondance en coccinelles au mois de juillet.

Il est possible que des interactions entre couverts aient eu lieu puisque leur implantation a été réalisées dans des zones assez proches, notamment pour les couverts du verger. Cependant, des essais avec des bandes fleuries en inter-rang de verger ont montré que leur influence sur la population d'auxiliaire était dégressive avec la distance. Ainsi, au-delà de 10 m d'éloignement de la bande, d'autres

paramètres extérieurs (haies, flore spontanée…) vont avoir une influence dominante sur les populations d'auxiliaires (TransBioFruit, 2012).

C. Effet des couverts sur la présence des ravageurs du pommier

La différence du taux de présence de pucerons verts entre les conditions témoin et couvre-sol en mai ne peut être attribuée à un effet des couverts puisque ceux-ci ne présentaient alors qu'un faible recouvrement, le sol nu étant dominant. Il est possible que les opérations de travail du sol pour le semis des couverts aient participé à diminuer la pression des pucerons sur les bosquets. En mai le couvert n°1 est dominant dans le recouvrement et les pommiers y sont plus touchés par le carpocapse. Ce couvert pourrait donc avoir un effet négatif sur la présence de ce ravageur.

Les pucerons cendrés ne sont quasiment plus présents sur les pommiers à la mi-juin, mais cela correspond à la période de migration de ce puceron sur son hôte secondaire, le plantain. De plus, la pression de ce ravageur descend plus tôt dans la saison pour la condition témoin. La présence des couverts ne constitue donc pas un avantage dans la régulation de ce ravageur d'après les résultats obtenus. Il sera cependant nécessaire d'évaluer l'impact des couverts lors du retours des pucerons sur leur hôte primaire en septembre.

Ces résultats sont à prendre avec précaution car les mesures sont réalisées dans un verger conservatoire, qui présente une grande diversité de variétés de pommiers et à des âges différents. Or ces facteurs ont une influence importante sur les ravageurs.

D. Conclusion

En conclusion, deux des couverts végétaux testés ont montré des résultats satisfaisants dans la gestion des adventices, les couverts auxiliaires arboriculture (n°2) et horticulture (n°5). En raison de leur hauteur, ces couverts, de même que le couvert pollinisateurs (n°1) restent plus adaptés pour une utilisation en dehors des zones de circulation. Du fait de leur abondante floraison, ces 3 couverts permettent d'attirer les pollinisateurs (n°1 et 2) ou des auxiliaires tels que les syrphes (n°5). Ils présentent également un intérêt esthétique pouvant être intéressant pour une utilisation sur des

exploitations ouvertes au public ou dans des jardins et espaces verts. Pour ces raisons le couvert n°1 reste intéressant mais il serait nécessaire d'évaluer sa performance en situation irriguée. Les autres couverts n'ont pas été performants du fait d'une implantation non réussie. Il conviendrait de tester d'autres modalités d'implantation pour ces couverts. Par exemple un semis d'automne ou des conditions irriguées. La poursuite de l'expérimentation devra permettre de vérifier la pérennité des couverts dans le temps et leur capacité à limiter les adventices durablement. Cela permettra aussi d'approfondir la caractérisation des arthropodes associés aux couverts. Enfin, les effets sur les ravageurs du verger pourront être évalués pour des couverts plus durablement installés, et surtout déjà en place lors de l'arrivée des ravageurs au printemps.

V. BIBLIOGRAPHIE

Aubertot, J.-N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J.-N., Guichard, L., Lucas, P., … Voltz, M. (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux.* (Expertise scientifique collective, synthèse du rapport). France: INRA et Cemagref.

Blanc, M. (1988). *Guide de protection raisonnée: pommier, poirier*. Paris: Association de coordination technique agricole.

CGDD. (2017). Pesticides : évolution des ventes, des usages et de la présence dans les cours d'eau depuis 2009. *Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer*, (94), 4.

Charles, R., Montfort, F., & Sarthou, J.-P. (2012). Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. *Justes E. et al*.

De Raïssac, M., Marnotte, P., & Alphonse, S. (1998). Interactions entre plantes de couverture, mauvaises herbes et cultures : quelle est l'importance de l'allélopathie. *Agriculture et développement*, (17), 40-49.

Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., & Savini, I. (2017). Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures*, *26*(1), 14002. https://doi.org/10.1051/cagri/2017004

Henry, J., Levert, P., Mousseron, C., Pelé, K., & Picard, N. (2014). *Recherche d'un couvert végétal adapté aux vergers écologiques*. Projet d'ingénieur, AgroSup Dijon.

Jacquet, F., Butault, J.-P., & Guichard, L. (2011). An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological Economics*, *70*(9), 1638-1648. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.04.003

Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., & Kropff, M. J. (2008). Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research*, *48*(6), 492-502.

Lahlou, I. (2018). *Evaluation et sélection de plantes et mélanges couvre-sol comme contribution au contrôle des adventices*. Master Ecologie et Développement Durable, Université Catholique de l'Ouest.

Les Mots de l'agronomie. (2018a). Désherbant, herbicide : un peu d'histoire.

Les Mots de l'agronomie. (2018b). Mauvaise herbe.

TransBioFruit. (2012). Les principales clés du verger bio transfrontalier - Pommes et poires - une approche globale.

Macé, K., Morlon, P., Munier-Jolain, N., & Quéré, L. (2007). Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agricultural Systems*, *93*(1-3), 115-142. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.04.007

Métais, P. (2015). Cultures intermédiaires: mieux maîtriser l'enherbement. *Perspectives agricoles*, (423), 32-36.

Mohammadi, G. R. (2012). Living Mulch as a Tool to Control Weeds in Agroecosystems: A Review. *Weed Control*, 27.

Orts, R., Giraud, M., & Darthout, L. (2006). *Protection intégrée pommier-poirier*. Paris; Cachan: Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes ; Diffusion, Lavoisier Éditions.

Parveaud, C.-E., Gomez, C., Bussi, C., Gotheron, I. U., Capowiez, Y., & Agroparc, S. (2011). Effect of White clover (Trifolium repens cv. Huia) cover crop on agronomic properties and soil biology in an organic peach orchard, 8.

Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture*, *3*(3), 443-463. https://doi.org/10.3390/agriculture3030443

Quennesson, S., & Oste, S. (2017). Gestion des adventices par la couverture végétale du sol en agriculture et espaces verts : panorama de techniques utilisées (p. 10). Présenté à AFPP – 6e Conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée, Lille.

R Core Team. (2017). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Consulté à l'adresse https://www.R-project.org/

Ricciolini, M. (s. d.). QuantiPest - Characterisation of main pests on apple tree. Consulté à l'adresse https://www6.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Arboriculture-fruitiere/Pommier/Characterisation-of-main-pests-on-apple-tree

Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*,

30(1), 139-152. https://doi.org/10.1051/agro/2009013

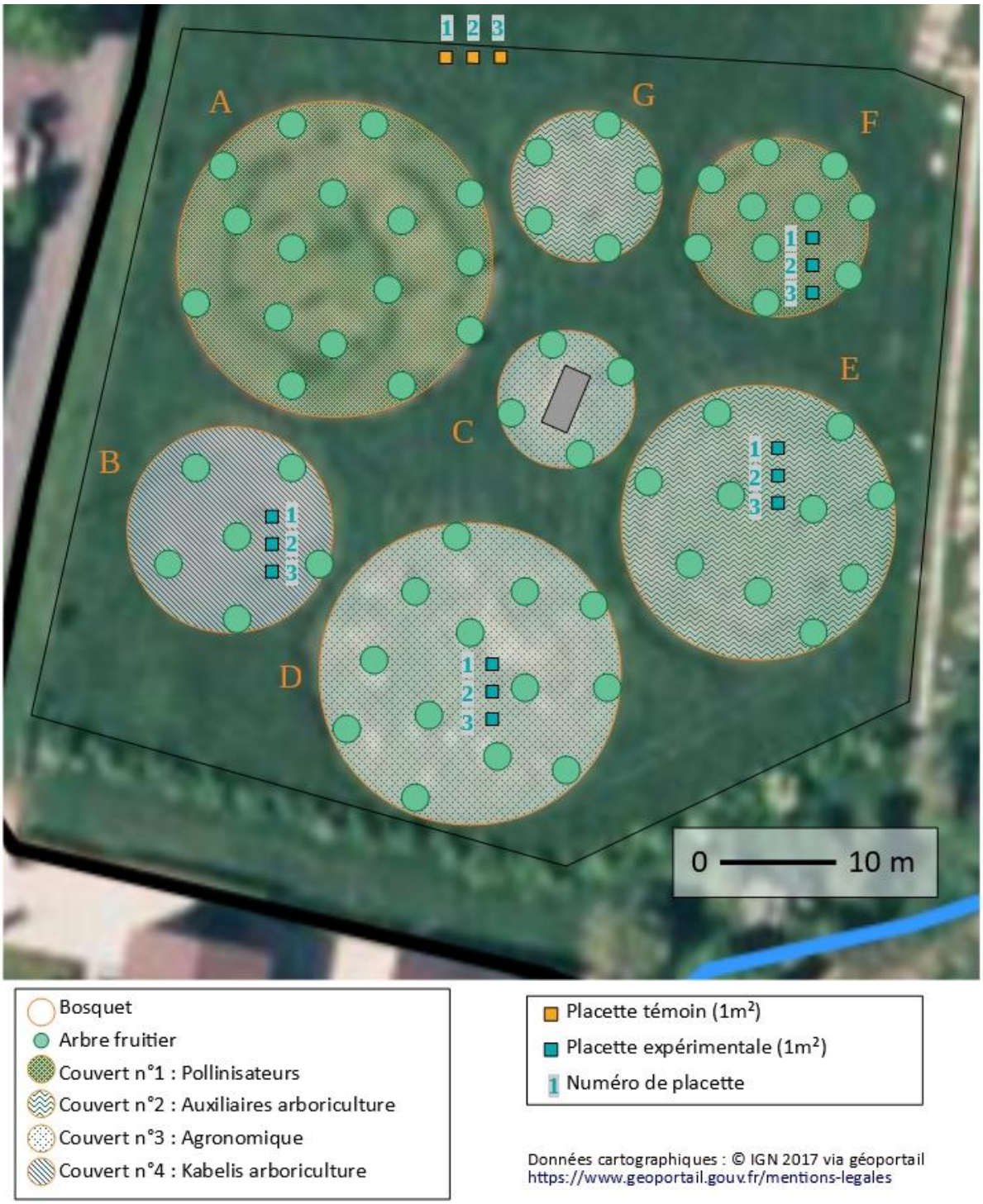
Steinmaus, S., Elmore, C. L., Smith, R. J., Donaldson, D., Weber, E. A., Roncoroni, J. A., & Miller, P. R. M. (2008). Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. *Weed research*, *48*(3), 273-281.

Tschuy, F., Gfeller, A., Azevedo, R., Khamissé, C., Henriet, L., & Wirth, J. (2014). Suppression des adventices par les couverts végétaux: différents facteurs analysés. *Recherche agronomique suisse*, 292.

ANNEXES

Annexe 1 : Implantation des couverts végétaux sur l'exploitation horticole

Annexe 2 : Implantation des couverts végétaux au verger clos.



Annexe 3 : Abondance des ennemis naturels des bioagresseurs selon l'ordre pour les couverts ayant un recouvrement supérieur à 50%. Données moyennes et écarts-types sur les relevés effectués sur 3 placettes de 1m² par modalités.

Juin	**Coleoptera**	**Hymenoptera**	**Diptera**	**Hemiptera**	**Orthoptera**	**Aranea**	**Thysanoptera**
Témoin végétation spontanée verger	1 ind./m² σ = 0	3 ind./m² σ = 2,65	1,67 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	0 ind./m² σ = 0	0,33 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°1 : Pollinisateurs	0,33 ind./m² σ = 0,58	17,33 ind./m² σ = 8,5	0,67 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	0 ind./m² σ = 0	1 ind./m² σ = 1	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	0,67 ind./m² σ = 0,58	4,67 ind./m² σ = 1,53	1 ind./m² σ = 0	0 ind./m² σ = 0	0,33 ind./m² σ = 0,58	0,33 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	0,33 ind./m² σ = 0,58	1,33 ind./m² σ = 1,15	5,33 ind./m² σ = 4,16	0 ind./m² σ = 0	0 ind./m² σ = 0	0,33 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0
Juillet							
Témoin végétation spontanée verger	0 ind./m² σ = 0	1,33 ind./m² σ = 0,58	1,67 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	0 ind./m² σ = 0	3 ind./m² σ = 2,65	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	0 ind./m² σ = 0	0,33 ind./m² σ = 0,58	1 ind./m² σ = 0	1,33 ind./m² σ = 1,53	0,33 ind./m² σ = 0,58	1,33 ind./m² σ = 1,53	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°4 : Kabelis arboriculture	4,33 ind./m² σ = 3,06	0,67 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	1 ind./m² σ = 1,73	0,33 ind./m² σ = 0,58	1,33 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	0,67 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	1,67 ind./m² σ = 1,15	0,33 ind./m² σ = 0,58	0 ind./m² σ = 0	1,33 ind./m² σ = 1,53	0,33 ind./m² σ = 0,58

Annexe 4 : Abondance des arthropodes selon le rôle écologique pour les couverts ayant un recouvrement supérieur à 50%. Données moyennes et écarts-types sur les relevés effectués sur 3 placettes de 1m² par modalités.

Juin	**Phytophage**	**Prédateur**	**Parasitoïde**	**Pollinisateur**	**Décomposeur**
Témoin végétation spontanée verger	204 ind./m² σ = 126,03	7,33 ind./m² σ = 2,08	0 ind./m² σ = 0	3,33 ind./m² σ = 2,31	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°1 : Pollinisateurs	77,67 ind./m² σ = 62,01	2,33 ind./m² σ = 0,58	1 ind./m² σ = 1	24,67 ind./m² σ = 10,07	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	64 ind./m² σ = 25,12	2,67 ind./m² σ = 0,58	1 ind./m² σ = 1	17 ind./m² σ = 1	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	77 ind./m² σ = 66,9	6 ind./m² σ = 4	1,33 ind./m² σ = 1,15	7,33 ind./m² σ = 5,51	5,33 ind./m² σ = 8,39
Juillet					
Témoin végétation spontanée verger	384,67 ind./m² σ = 577,07	8 ind./m² σ = 6,56	1,33 ind./m² σ = 0,58	2 ind./m² σ = 0	1 ind./m² σ = 1
Couvert n°2 : Auxiliaires arboriculture	51,67 ind./m² σ = 53,98	6 ind./m² σ = 2,65	0,33 ind./m² σ = 0,58	5,67 ind./m² σ = 4,73	0,67 ind./m² σ = 0,58
Couvert n°4 : Kabelis arboriculture	30,33 ind./m² σ = 5,51	7,33 ind./m² σ = 3,51	0,67 ind./m² σ = 0,58	0,67 ind./m² σ = 1,15	0 ind./m² σ = 0
Couvert n°5 : Auxiliaires horticulture	78,33 ind./m² σ = 63,22	6,67 ind./m² σ = 1,53	0 ind./m² σ = 0	1,67 ind./m² σ = 1,15	2 ind./m² σ = 2,65