Mémoire de fin d'études

Agroforesteries céréalières en Provence : quels enjeux pour les agriculteurs et la filière

Étude de cas

Stage réalisé du 23/03/2020 au 23/09/2020

Par : *Thomas Fayet*

Tuteur :

Wilfried Queyrel

Maîtres de stage :

Florian Carlet (GR CIVAM PACA)

Mathieu Marguerie (Agribio04)

AgroSup Dijon Cursus d'Ingénieurs en Formation Initiale

3ème Année - Spécialité Agronomie, 2017-2020

Remerciements

Je remercie tout d'abord mon maître de stage, Florian Carlet, qui a été source d'apprentissage tout le long du stage, et qui a su me partager les valeurs de l'association et son métier au sein du GR CIVAM. Je tiens également à remercie mon co-encadrant, Mathieu Marguerie, pour toutes ses connaissances qu'il a pu me transmettre, en particulier, sur les grandes cultures en PACA et ses relectures.

Je remercie mon tuteur de stage, Wilfried Queyrel, pour son accompagnement et ses conseils durant le stage.

Je remercie particulièrement les cinq agriculteurs, dont j'ai pu suivre les parcelles pour leur accueil et les discussions très instructives que j'ai pu avoir avec eux sur leurs systèmes de production et leur vision de l'agriculture.

Je tiens également à remercier Elena Garcia, pour ses conseils en identification des carabes.

Je remercie toute l'équipe du GR CIVAM PACA : Annick, François, Jessy et Marion, ainsi que les membres d'Agribio 84 et de l'ADEAR, pour leur accueil au MIN de Cavaillon dans les meilleures conditions et les moments de partage.

Sommaire

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

RÉSUMÉ

ABSTRACT

INTRODUCTION 1

1 CONTEXTE 2

1.1 Situation géographique, agricole et climatique du lieu d'étude 2

1.1.1 Les modèles agricoles en PACA 2

1.1.2 La filière céréalière en PACA et ses enjeux 2

1.1.3 Les enjeux et caractéristiques du contexte climatique méditerranéen 3

1.2 L'agroforesterie 4

1.2.1 Panorama de l'agroforesterie 4

1.2.2 L'agroforesterie céréalière 5

1.2.3 Les impacts globaux sur le système agricole 6

1.3 Evaluation et développement des pratiques agroforestières 10

1.3.1 Le projet SAM : Système Agroforestier Méditerranéen 10

1.3.2 Intérêts de l'évaluation et acquisition de données dans la démarche d'innovation 10

2 QUESTION DE RECHERCHE 12

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES 12

3.1 Sites expérimentaux 12

3.2 Etude de la biodiversité fonctionnelle 14

3.2.1 Parcelles expérimentales 14

3.2.2 Choix des populations étudiées 14

3.2.3 Pot Barber 16

3.2.4 Bande carton 16

3.2.5 Identification des insectes 16

3.2.6 Analyse de la biodiversité 17

3.2.7 Analyses statistiques 17

3.3 Evaluation prospective des parcelles 17

3.3.1 Enquête 18

3.3.2 Evaluation prospective des projets 18

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION 19

4.1 Étude de la biodiversité fonctionnelle 19

4.1.1 Forficules 19

4.1.2 Araignées et staphylins 20

4.1.3 Carabes 21

4.1.4 Discussion des méthodologies de piégeage 25

4.2 Analyse des projets 27

4.2.1 L'impact sur le chiffre d'affaire de la parcelle M 27

4.2.2 L'efficacité des haies brise-vent en grande culture 28

4.2.3 Limiter l'érosion avec l'implantation d'arbres de haut-jet (parcelle P) 29

4.2.4 Améliorer la fertilité des sols dans deux parcelles de conception différentes (C et G) 29

4.2.5 Limiter les fortes chaleurs grâce à l'agroforesterie intra-parcellaire (parcelle C et P) 31

4.2.6 Perspective d'évolution des surfaces en agroforesterie.....33

CONCLUSION..... 34

BIBLIOGRAPHIE..... 36

ANNEXES..... 44

Liste des tableaux

1. Tableau I : Répartition de collecte de céréale en 2018, région PACA
2. Tableau II : Recensement 2008 estimé des surfaces agroforestières traditionnelles en France (superficie et nombres d'exploitants)
3. Tableau III : Avantages et limites environnementaux à la mise en place de l'agroforesterie.

4. Tableau IV : Description des parcelles d'études
5. Tableau V : Caractéristiques principales des auxiliaires de cultures étudiées et méthodes d'observations de chaque taxon
6. Tableau VI : Effectif d'araignées et staphylins piégés par modalité et par parcelle
7. Tableau VII : Données écologiques de l'identification des carabes piégés, par parcelle et par modalité

8. Tableau VIII : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle H. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence.
9. Tableau IX : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle P. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence

10. Tableau X : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle G. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence
11. Tableau XI : Chiffres d'affaires estimé entre une rotation blé dur/orge et la même rotation sur une parcelle agroforestière planté en amandier (92 arbres/ha) sur une durée de 35 ans.Y

Tableau XII : Bénéfices/Risques à la mise en place de haies brise-vent

Liste des figures

YFigure 1 : Orientation technico-économique des communes de PA

Figure 2 : Répartition de l'occupation du territoire en 2014

Figure 3 : Carte du nombre de jours de pluie supérieur à 1 mm d'eau et carte des climats français

Figure 4 : Cartographie des températures maximales de juillet pour la période 1961-1990 simulées par le modèle ARPEGEClimat en région PACA, spatialisation à 1 km de résolution spatiale

Figure 5 : Parcelle agroforestière en noyer-céréale, Vézénobres (Hérault) (à gauche) et une des parcelles étudiées (parcelle C, à droite) sur le massif de la Sainte-Baume, planté en essences mellifères diversifiés (arbres, arbustes et lavande).

Figure 6 : Carte des départements de la région PACA et positionnements des parcelles d'expérimentation

Figure 7 : Photos des parcelles agroforestières étudiées.

Figure 8 : Photos des parcelles agroforestières étudiées.

Figure 9 : Schéma des dispositifs d'étude de la biodiversité fonctionnelle (pot « Barber » et bande carton)

Figure 10 : Photos des différents taxons étudiés, de gauche à droite : Staphylin, Carabe, araignée et forficule

Figure 11 : Photo d'un pot Barber et du toit (soulevé) mis en place dans la parcelle C

Figure 12 : Photo d'un dispositif de bande carton, parcelle C

Figure 13 : Nombre de forficules moyen par pièges dans toutes les parcelles pour les deux modalités (AF et TA) (* significativement différent à **0,05**)

Figure 14: Moyenne du nombre de forficules par pièges dans chaque parcelles et modalités (b : significatif à **0.1** p-value)

Figure 15 : Nombre de staphylins et araignées retrouvés par pot et par modalité pour l'ensemble de parcelles regroupées.

Figure 16 : Répartition des différents taxons de carabes piégés dans la parcelle H selon les deux modalités testées

Figure 17: Répartition des différents taxons de carabes piégés dans la parcelle P, selon les deux modalités testées

Figure 18 : Augmentation du rendement pour différentes cultures protégées par des brise-vent et schématisation des zones de protection (gain de rendement) en fonction de la hauteur de la haie (H)

Figure 19: Protection latérale du vent par les haies en fonction de leur longueur et de leur hauteur

Figure 20 : Perte de sol suivant le système de culture, agroforesterie (AFS), sol de culture sur abattis-brûlis (SSC), forêt (F).

Sigles et abréviations

€ : Euro
σ : Ecart-type
04 : n° du département des Alpes de Hautes Provence
05 : n° du département des Hautes-Alpes
06 : n° du département des Alpes Maritimes
13 : n° du département des Bouches-du-Rhône
83 : n° du département du Var
84 : n° du département du Vaucluse
AB : Agriculture Biologique
ADméd : Agricultures Durables en Méditerranée
AF : Agroforesterie
AFAF : Association Française d'AgroForesterie
A(R)DEAR : Association (Régionale) de Développement de l'Emploi Agricole et Rural CA(R)
CAPTE : Collectif d'Acteurs pour la Plantation et la Transition Environnementale
CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural
CIPAN : Culture intermédiaires piège à nitrate
CIVAM : Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
CRIPT : Complexe Régional d'Information Pédagogique et Technique
CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière
CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
ETP : Evapotranspiration potentielle
FN CIVAM : Fédération Nationale des Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
GES : Gaz à effet de serre
GRAB : Groupement de Recherche en Agriculture Biologique
GREC SUD : Groupement régional d'experts climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur
GR CIVAM : Groupement Régional des Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
H : Hauteur de la haie
INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
ITK : Itinéraire technique
LER : Land Equivalent Ratio
LSA : Linéaire sous arboré
MO : Matière organique
OAB : Observatoire Agricole de Biodiversité
PAC : Politique Agricole Commune
PACA : Provence-Alpes-Côte D'azur (région
PIB : Produit Intérieur Brut
PPAM : Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales
PPP : Produit phytopharmaceutique
RU : Réservoir utile en eau
SAM : Systèmes Agroforestiers Méditerranéen
SAU : Surface Agricole Utile
SIE : Surface d'intérêt écologique
SMART : Systèmes Maraîchers en Agroforesterie pour des Références Techniques et économiques

Résumé

L'agroforesterie – association d'arbres avec des cultures et/ou de l'élevage – est souvent présentée comme un levier d'action pour accroître la durabilité des systèmes de productions agricoles et répondre aux enjeux de diversification. Alors que les arbres ont disparu peu à peu durant la période du remembrement et de l'intensification de l'agriculture, l'association des arbres et des grandes cultures intéresse de plus en plus d'agriculteurs qui sont soucieux d'améliorer la durabilité de leurs fermes, mais aussi des organismes de recherche et des structures d'accompagnement et de formation, afin de faciliter au mieux l'installation de ces systèmes dans les parcelles agricoles.

Au niveau de la région PACA, un réseau naissant d'agriculteurs s'intéresse depuis peu à cette pratique en contexte méditerranéen. Au sein de ce réseau cinq agriculteurs ont plantés des arbres intra-parcellaire en grandes cultures entre 2017 et 2020. L'étude fait partie d'un projet d'acquisition de références et d'accompagnement de l'agroforesterie à l'échelle régionale (**S**ystème **A**groforestier **M**éditerranéen).

L'étude se veut ascendante en se basant sur les questionnements des agriculteurs à propos de leurs systèmes agroforestiers. Ces questionnements ont mené à la création de deux études : l'impact de l'agroforesterie sur la biodiversité fonctionnelle et l'analyse prospective des projets au regard des objectifs des agriculteurs. La première étude a été réalisée avec des relevés sur les parcelles alors que la deuxième se base sur l'étude de la bibliographie déjà existante.

La présence de linéaires d'arbres avec des bandes enherbées semble influencer la biodiversité étudiée qui regroupe les forficules, staphylins, araignées et carabes. L'abondance d'araignées, staphylins et forficules est en moyenne plus importante dans les linéaires d'arbres avec des bandes enherbées que dans les parcelles témoins étudiées. De plus, les espèces de carabes identifiées sont assez différentes entre les deux modalités testées (agroforesterie et témoin agricole). En revanche, les différences observées sont très dépendantes des parcelles avec des tendances qui peuvent s'inverser. Cette étude est le résultat de la première année de mesures qui devraient se poursuivre en 2021. L'analyse prospective a permis d'étudier cinq objectifs exprimés par les agriculteurs. Elle a mis en évidence la cohérence des attentes des agriculteurs avec les données bibliographiques étudiée.

Mots-clefs : agroforesterie, grandes cultures, méditerranéen, biodiversité fonctionnelle, analyse prospective

Abstract

Agroforestry - the association of trees with crops and/or livestock - is often presented as a lever of action to increase the sustainability of agricultural production systems and to respond to the challenges of diversification. While trees have gradually disappeared during the period of land consolidation and agricultural intensification, the association of trees with field crops is of growing interest to farmers who are concerned about improving the sustainability of their farms, but also to research organizations and support and training structures, in order to best facilitate the installation of these systems in agricultural plots.

At the level of the PACA region, a nascent network of farmers has recently become interested in this practice in the Mediterranean climate. Within this network five farmers have planted intra-plot trees in field crops between 2017 and 2020. The study is part of a project to acquire references and support agroforestry on a regional scale (**S**ystème **A**groforestier **M**éditerranéen).

The study is intended to be bottom-up, based on farmers' questions about their agroforestry systems. These questions have led to the creation of two studies: the impact of agroforestry on functional biodiversity and the prospective analysis of projects with regard to farmers' objectives. The first study was carried out with plot surveys, while the second was based on a study of the existing bibliography.

The presence of tree lines with grassy strips seems to influence the studied biodiversity which includes forficulae, staphylins, spiders and carabid beetles. The abundance of spiders, staphylins and forficulae is on average greater in tree lines with grassy strips than in the control plots studied. Moreover, the identified ground beetle species are quite different between the two modalities tested (agroforestry and agricultural control). On the other hand, the differences observed are highly dependent on the plots with trends that can be reversed. This study is the result of the first year of measurements that should continue in 2021. The prospective analysis studied five objectives expressed by the farmers. It highlighted the consistency of farmers' expectations with the bibliographical data studied.

Keys words : agroforestry, field crops, mediterranean, functional biodiversity, prospective analysis

Introduction

Depuis plusieurs décennies, la tendance est à la spécialisation des paysages ruraux. Cela est dû à trois facteurs principaux que sont l'étalement urbain, l'intensification de l'agriculture et l'exode rural. (Marull et al. 2014) Cette spécialisation se traduit par la diminution d'une mosaïque fine des paysages, avec des zones uniquement destinées à la forêt et d'autres à l'agriculture. Cela a notamment entrainé des ruptures dans les corridors de biodiversité mais aussi la disparation d'éléments du paysage comme les haies et les bosquets qui peuvent être intéressants d'un point de vue agronomique (Marull et al. 2014).

De plus, les problématiques agronomiques telles que l'érosion des sols et la perte de fertilité progressive (Vericel et al. 2018) ainsi que les problématiques climatiques naissantes ou ancestrales poussent les agriculteurs à innover et changer leurs pratiques. A l'échelle plus locale de la Provence, les difficultés récentes comme l'érosion des rendements du blé dur (culture céréalière principale en PACA) et la faible valorisation des productions sur la filière céréale régionale sont également motrices du changement (Marguerie 2019).

Dans ce cadre, il est important de donner les moyens aux agriculteurs de pouvoir innover tout en limitant les risques financiers, agronomiques et sociaux. L'agroforesterie se définit par l'association d'arbres et cultures ou animaux sur une même parcelle, ce terme intégrant une grande diversité de pratiques utilisées dans le monde entier (Dupraz et Liagre 2011). Les arbres sont plantés pour une période très longue qui s'étend habituellement de 30 à 80 ans ; cependant, les agriculteurs de par la nature de leurs cultures ont généralement une vision et des contraintes sur leur ferme qui sont à court terme.

L'agroforesterie, qui est envisagée par un collectif naissant d'agriculteurs sur la région, pourrait répondre à certaines des problématiques évoquées auxquelles ils font face. C'est dans ce cadre que le projet 'SAM', qui associe organismes de développement (CIVAM, fédérations d'agriculteurs biologiques...), de la recherche (INRA, GRAB d'Avignon) et de l'enseignement (EPL Aix Valabre, CRIPT PACA), a vu le jour au travers d'un financement européen issu du FEADER. Le stage c'est quant à lui focalisé sur l'agroforesterie en parcelles céréalières mais le projet SAM s'intéresse également aux systèmes agroforestiers maraîchers qui semblent intéresser un nombre croissant d'agriculteurs au sein de la région.

Les agriculteurs qui ont choisi cette innovation agronomique, veulent répondre à des problématiques qu'ils rencontrent et améliorer la durabilité de leur ferme et de leurs parcelles dans un contexte climatique difficile. (GREC-SUD 2017; Barbier et al. 2016) L'acquisition de références spécifiques à la zone méditerranéenne est importante car elle bénéficie d'un climat particulier et fragile d'un point de vue agronomique notamment sur la gestion de l'eau. L'innovation se construit à base de références ancestrales ou récemment acquises qui restent encore peu nombreuses à ce jour, en particulier dans leur région de production. Or, la création de références scientifiques est un des principaux leviers de l'adoption de l'innovation en agriculture. (Hervé et Vial 2019)

L'accompagnement ascendant a conduit le GR CIVAM PACA à monter le programme SAM. Il associe fortement les agriculteurs dans sa conduite du fait de l'objectif général du projet d'acquérir plus de références et de compétences sur l'agroforesterie provençale et d'évaluer les avantages et les limites au déploiement de la pratique sur les fermes.

Après une présentation du contexte de l'étude et de l'état des connaissances sur l'agroforesterie, le climat et la filière céréale méditerranéenne (1ère partie), nous présenterons

les matériels et méthodes utilisés (2ème partie) et les résultats et discussions de l'étude (3ème partie).

1 Contexte

1.1 Situation géographique, agricole et climatique du lieu d'étude

1.1.1 Les modèles agricoles en PACA

Les formes d'agriculture en PACA sont diversifiées : grandes cultures, viticulture, élevages, arboriculture, maraîchage, production de plante médicinale et aromatique (PPAM) …

La répartition de ces cultures est en grande partie due au contexte pédoclimatique de chaque territoire. Les régions viticoles sont plutôt situées au sud et au nord-ouest alors que l'élevage est plutôt situé dans la partie est, proche et dans le massif des Alpes. Les grandes cultures sont plutôt situées au centre de la Région PACA, principalement dans le département des Alpes-de-Haute Provence (Figure 1).

De plus, l'occupation du territoire diffère assez fortement de la moyenne nationale avec une grande partie (43 %) du territoire occupé par de la forêt et une surface de terre arable assez réduite (7%), alors que ces dernières représentent respectivement 31 % et 33 % à l'échelle nationale. La surface de vignes et vergers est deux fois plus importante que sur le territoire national et représente plus de 30 % de la valeur économique générée par l'agriculture dans la Région (Michelet 2019) (Figure 2).

1.1.2 La filière céréalière en PACA et ses enjeux

Les grandes cultures, comprenant céréales, protéagineux et oléagineux représentent 18 % de la SAU (surface agricole utile) en PACA (AREFA PACA 2019). La filière est largement dominée par le blé dur (Tableau I) avec 43 000 ha semés en 2015 ce qui en fait la quatrième région la plus productrice en France malgré les surfaces de terre arable limitées. (Figure 2)

La filière céréale est organisée dans la région autour de plusieurs organismes stockeurs (notamment des coopératives) mais aussi des transformateurs avec au total : 1 usine de fabrication de pâtes, 9 boulangeries industrielles, 10 moulins, 9 fabricants d'aliments pour animaux et 4 brasseries (Prisset et Langlois 2015).

Ces dernières années, la filière est en déclin notamment en ce qui concerne le blé dur. Sa surface a diminué de 40 % entre 2010 et 2018 passant de 55 000 ha à 33 000 ha (Timotéo et al. 2019). Cette baisse de production est expliquée par une rentabilité économique faible. En effet, les agriculteurs ont toujours les moyens agronomiques de produire mais la filière ne valorise pas suffisamment le produit pour en assurer une rentabilité compétitive à la ferme par rapport à d'autres cultures (fourrages, lavandes, …). De plus, le changement climatique fait baisser assez fortement le rendement des cultures d'environ 10 q/ha/an ce qui érode la rentabilité de cette culture (Jézéquel 2015). Trois facteurs principaux en sont la cause : le déficit hydrique au printemps, les fortes chaleurs précoces (mai et juin) qui provoquent de l'échaudage ainsi que les fortes pluies hivernales dans certaines parties de la région (notamment en Camargue) qui inondent les champs ce qui peut provoquer de l'érosion et retarder la mise en place de la culture ou dégrader la culture elle-même. De plus, la variabilité des pluies dans la saison entraîne une alternance plus marquée entre les sécheresses et les périodes très humides qui favorisent les maladies fongiques (GREC-SUD 2018).

Face à ces difficultés, certains agriculteurs se tournent vers des modes de culture plus alternatifs comme l'agriculture de conversation, l'agriculture biologique ou la diversification de leurs assolements en intégrant des PPAM (Plantes à parfum, aromatiques et médicinales) qui peuvent être économique et agronomique plus intéressantes (Marguerie 2019b) (Lahmar 2006).

Pour autant, les opportunités pour la filière céréale se multiplient. En effet, le terroir permet d'obtenir des productions de qualité avec de faibles IFT[1]. D'ailleurs, l'agriculture biologique a connu un très fort essor en PACA avec 15 % des surfaces en grandes cultures converties en AB en 2018 soit près de 8 000 ha contre 2.8 % (320 000 ha) à l'échelle nationale (Agence bio 2019). De plus, des filières de qualité s'implantent peu à peu avec la création d'une « Baguette de Provence » faite avec des blés de la région (La France agricole 2018). De même, les usines de fabrication de pâtes (Panzani et Alpina notamment) sont de plus en plus demandeuses de blés locaux de qualité, dont des productions certifiées en agriculture biologique.

1.1.3 Les enjeux et caractéristiques du contexte climatique méditerranéen

1.1.3.1 La situation actuelle…

Le climat méditerranéen de la région se caractérise par des sécheresses fréquentes et de fortes chaleurs estivales. La pluviométrie avoisine les 500 mm/an avec une forte variabilité intra et interannuelle qui se traduit généralement par des périodes de fortes sécheresses et des périodes de fortes pluies inégalement réparties sur l'année (Annexe 1) (GREC-SUD 2017). La carte du nombre de jours avec des précipitations de plus de 1mm (Figure 3) montre bien la disparité des pluies dans l'année au niveau de la région par rapport au reste de la France. Cependant, une partie de la région n'est pas soumise à ce climat et profite d'avantage d'un climat continental ayant des influences méditerranéennes ou alors d'un climat montagnard au niveau du massif des Alpes, c'est notamment le cas du nord des Alpes-de-Hautes Provence (04) et des Hautes-Alpes (05) (Figure 3). Dans ce cas, les chaleurs sont généralement moins fortes et la pluviométrie est plus élevée dépassant facilement les 1000 mm/an en se rapprochant des Alpes (Annexe 1).

De plus, la région PACA est bien protégée des flux d'air venant du nord grâce aux deux chaînes montagneuses : Massif Central à l'ouest et Alpes à l'est. Cette particularité permet de maintenir un climat plus chaud que dans le reste de la France avec une moyenne de température plus élevée. Cependant, certaines entrées d'air comme par la vallée du Rhône ou le seuil du Lauragais (entre le Massif Central et les Pyrénées) accélèrent la masse d'air et créent des vents puissants comme le Mistral et la Tramontane (Météo France 2017; 2010).

De ce fait, les risques climatiques sont importants avec d'une part la sécheresse et d'autre part les érosions et glissements de terrain. En outre, dans cette région assez particulière, la topographie (altitude, exposition, encaissement, pente …) et l'éloignement à la mer sont des facteurs très importants de variations climatiques locales.(Figure 4) (Barbier et al. 2016) Par exemple, en l'espace de 20 km en partant de la mer (plus chaud) vers l'arrière-pays niçois (plus froid), la différence de température, en janvier, peut atteindre 10°C (Chanzy et al. 2017).

D'un point de vue agricole, la région a autant d'atouts qu'elle a de contraintes. Son climat particulier en fait une région de France très diversifiée d'un point de vue agricole. Certaines cultures fruitières sont en particulier quasiment endémiques de la région, comme l'olivier ou

1 L'indice de Fréquence de Traitement est utilisé pour évaluer l'utilisation de produit phytopharmaceutiques sur la saison de culture. Un IFT de 1 correspond au passage d'un traitement sur une culture à la dose préconiser.

l'amandier. Cependant, ce climat particulier se traduit également par des aléas qui peuvent mettre en péril la production agricole assez vulnérable. En effet, les longues périodes de sécheresse sont souvent délétères pour les plantes, de même les fortes chaleurs peuvent entraîner de fortes pertes de rendement en céréales quand elles surviennent lors du remplissage des grains avec le phénomène d'échaudage. De plus, les variations climatiques entre les années sont fortes notamment au niveau de la pluviométrie ce qui est un véritable problème dans les parcelles non irrigables car les agriculteurs font face à des aléas fréquents auxquels il est difficile de s'adapter (Barbier et al. 2016) (Jézéquel 2015).

1.1.3.2 … et les perspectives à venir et leurs impacts sur l'agriculture

Le réchauffement climatique global aura très certainement un impact assez fort dans les zones méditerranéennes qui sont déjà soumises à des contraintes climatiques fortes.

Au niveau de la région PACA, les principaux phénomènes futurs annoncés sont le renforcement des sécheresses (plus fréquentes et sur une période plus longue) et l'augmentation des pluies violentes dues à une évaporation accrue des eaux de mer. De plus, l'augmentation des températures sera plus importante en été qu'en hiver, ce qui entraînera une augmentation de l'ETP (évapotranspiration potentielle) pouvant être problématique pour l'approvisionnement en eau des plantes (la consommation étant plus forte) (MEDCIE 2008; Russo 2012). Les changements vont de fait réduire la disponibilité en eau à long terme ce qui pourra faire disparaître avec elle certaines espèces cultivées. En effet, au sein des parcelles non irriguées ou ayant des sols avec un RU (réservoir utile en eau) faible, la problématique du stress hydrique est grandissante. La consommation d'eau à travers l'irrigation risque d'augmenter, entrainant des problèmes de ressources qui pourront par ailleurs affecter les sociétés humaines directement (Chanzy et al. 2017). L'agriculture va donc devoir s'adapter et opter pour des systèmes moins gourmands en eau et aussi plus résilients face aux fortes chaleurs. Par exemple, en limitant certaines cultures de printemps (maïs, soja, …) car elles sont souvent consommatrices d'eau et nécessitent dans cette région une irrigation régulière. Ce constat risque d'être fortement préjudiciable, l'irrigation étant un gage de diversification des cultures mais aussi un moyen de sécuriser l'implantation de couverts végétaux sur les parcelles, et permet d'atteindre une production suffisante de ceux-ci pour justifier leur mise en place au regard de leurs apports bénéfiques sur la parcelle. (Marguerie 2019a)

De plus, l'agriculture a son rôle à jouer dans le changement climatique. En effet, avant de s'adapter aux nouvelles contraintes climatiques, l'agriculture peut certainement diminuer son impact global notamment sur les émissions de GES et le stockage de carbone. La mise en place de mesures agroécologiques visant à réduire la consommation de carburant (diminution du travail du sol par exemple) et la réduction de l'utilisation des engrais minéraux par un recyclage plus important au niveau de la ferme permettrait de réduire les émissions de GES. D'autre part, des pratiques favorisant le stockage de carbone comme l'installation de cultures plus pérennes à l'image des prairies ou des parcelles agroforestières peuvent être mise en place (GREC-SUD 2017) (MEDCIE 2008) (Barbier et al. 2016) (Pellerin et al. 2013).

1.2 L'agroforesterie

1.2.1 Panorama de l'agroforesterie

L'agroforesterie se définit par l'association d'arbres et de cultures et/ou animaux sur une même parcelle (Dupraz et Liagre 2011). Cette définition large tient compte des nombreuses facettes de valorisation de l'arbre possible à la ferme, où ce dernier n'est pas qu'un simple élément topographique mais a un ou plusieurs rôles volontaires et définis par l'agriculteur :

- Les près vergers qui regroupent pâturages et arbres fruitiers sont assez présents dans nos paysages
- Le sylviopastoralisme, pâturage et bois d'œuvre, représente également une forme particulièrement utilisée dans certaines régions notamment pour l'entretien des forêts.
- Les vergers-maraîchers mélangeant production de légumes et de fruits sur une même parcelle.
- Les cultures annuelles cultivées entre les arbres qui sont plantés en lignes espacées.
- La présence de haies en bordure de parcelle ou de bosquets au sein des parcelles est historiquement encore assez présente, notamment dans les paysages de bocage

Toutes ces formes, qui ne sont pas exhaustives, montrent la diversité de ce que regroupe l'agroforesterie dans les paysages agricoles.

Dans les années qui ont suivi la « révolution verte », la monoculture était considérée comme le nouveau système efficace qui permettait de produire plus, ainsi les remembrements ont entraîné une forte chute de la présence de système agroforestier. Au niveau européen, l'agroforesterie avait nettement diminué avec notamment la disparition des haies qui bordaient la plupart des champs. En France, les constatations sont les mêmes avec une régression des haies, qui a atteint son apogée dans les années 80 et qui est toujours présente aujourd'hui. La réduction est de l'ordre de 70 % entre 1930 (2 millions de kilomètres) et 2006 (600 000 km) (Pointereau et Coulomb 2006). Aujourd'hui, la diminution est moins forte mais toujours de mise avec environ 11 500 kms retirés tous les ans en France (Berlingen 2019).

La forme d'agroforesterie la plus répandue jusqu'aux années 1940 était le sylvopastoralisme avec la présence de troupeaux notamment dans les zones de moyenne montagne qui pâturaient en partie dans les forêts et qui de ce fait assuraient leur entretien. La présence des arbres au sein des cultures annuelles est plutôt jeune et date de la fin du XX^{ème} siècle. Cependant, peu d'éléments sont connus sur cette pratique ce qui limite sa diffusion et sa mise en place. En effet, les incertitudes techniques et économiques notamment sur la production de bois valorisable et le renouvellement du système de culture, ainsi que les investissements sur le long terme sont des freins au développement de la pratique (J. L. Guitton et al. 1994).

En 2008, on comptabilise en France 170 000 ha d'agroforesterie, répartis chez 45 000 agriculteurs, largement dominée par les près vergers traditionnels qui regroupent 140 000 ha (Tableau II). Bien que cette surface soit très faible par rapport à la SAU française totale (0,6 %), le potentiel de développement reste assez important à l'échelle du territoire car près de 40% des sols cultivés et 30% des prairies pourraient être implantés en agroforesterie. Cette estimation est basée sur les deux éléments suivants qui sont : 1 m de profondeur minimum de sol et un RU en eau de 120 mm minimum (Pellerin et al. 2013).

De plus, bien que l'agroforesterie ne soit pas une pratique uniquement réservée au modèle biologique, en 2015, les fermes en agriculture biologique comptabilisent près de la moitié des surfaces en agroforesterie à l'échelle française alors qu'elles ne représentaient que 5 % de la SAU (Surface agricole utile) française (ADOCOM RP 2016). Une des raisons invoquées est le fait que les agriculteurs en AB seraient plus soucieux de développer la biodiversité dans leurs parcelles (Balny, Domallain, et De Galbert 2015).

1.2.2 L'agroforesterie céréalière

Comme pour l'ensemble des pratiques agroécologiques mises en place à la ferme, l'intégration d'arbres en productions céréalières dépend largement du contexte inhérent à chaque ferme et des objectifs poursuivis par l'agriculteur. En outre, l'agroforesterie en

parcelle céréalière est assez peu développée et généralement assez jeune en France (moins de 20 ans) (Dupraz et Liagre 2011). Elle se présente souvent sous la forme de linéaires d'arbres ou de haies équidistants les uns des autres avec un espacement qui facilite le passage des engins agricoles. (Figure 5)

Différents facteurs peuvent varier dans l'implantation d'une parcelle céréalière en agroforesterie :

- L'espacement entre les lignes : cette composante dépend largement du matériel utilisé à la ferme (semoir, moissonneuse batteuse). On recherche un multiple de la plus grande largeur d'outil utilisé, pour éviter des allers-retours inutiles au cours des opérations culturales. Cela conduit parfois à des distances de 30, 40 m, parfois plus entre les lignes (Dupraz et Liagre 2011).
- Les espèces implantées : elles dépendant du contexte pédoclimatique de plantation mais aussi beaucoup des objectifs liés à la valorisation du bois (bois d'œuvre, plaquette, BRF, production de fruits, intérêt agro-environnemental lié à la protection contre le vent, favoriser la biodiversité utile, etc...). De plus, certaines parcelles sont plantées en rangées d'arbres mono-spécifique (noyer par exemple) alors que d'autres sont plantées en rangées plurispécifiques avec parfois jusqu'à des dizaines d'espèces différentes (Dupraz et Liagre 2011).
- La densité d'implantation : elle se raisonne à long terme, les agriculteurs ayant toujours l'option si la densité finale doit être réduite de couper certains arbres lorsque la présence des arbres peut gêner les cultures (compétition pour l'ombre, la lumière, l'eau). La densité des arbres peut fortement varier entre les systèmes et est souvent comprise entre 50 et 200 arbres/ha. Pour une densité finale de 50 arbres à l'hectare une parcelle perd seulement 8 % de sa surface, avec une gestion adaptée des arbres sur le long terme (Dupraz et Capillon 2006).
- Entretiens des linéaires : l'entretien des arbres dépend de leur devenir final mais aussi de l'utilisation du linéaire que fait l'agriculteur. Par exemple, la taille en trogne permet d'obtenir régulièrement du bois pour faire des poutres ou du chauffage et limite l'ombrage sur les cultures annuelles. (Michon 2020) D'autres types de taille permettent d'obtenir des bois d'œuvres qui seront généralement mieux valorisés.

Enfin, l'agriculteur met en place cette pratique pour répondre à des objectifs qui sont en partis conditionnés par son environnement, ses opportunités, ses méthodes de travail et les problématiques qu'il rencontre. Le projet agroforestier qui en ressort est donc dépendant de sa situation générale.

1.2.3 Les impacts globaux sur le système agricole

1.2.3.1 Environnemental (Tableau III)

a. Biodiversité

Les réductions des habitats semi-naturels aux abords des parcelles telles que des haies, forêts, prairies, talus, et autres ont amorcé une chute massive de la biodiversité des parcelles agricoles (Stoate et al. 2001). De même, une méta-analyse faite sur l'impact de la mise en place de l'AB sur la biodiversité des fermes montre que l'AB augmente en général la diversité des espèces et leurs abondances mais que ce sont les éléments du paysage qui sont les premiers facteurs de ces apports de biodiversité. (Bengtsson, Ahnström, et Weibull 2005) Cette diversité inclut notamment les organismes bénéfiques aux productions agricoles. « Un auxiliaire de culture, au sens large, est un organisme vivant qui fournit des services

écosystémiques permettant de faciliter la production agricole. Il remplace tout ou partie du travail et des intrants apportés par l'agriculteur. » (Joseph, Delattre, et Sarthou 2018). En effet, ils englobent une grande partie des êtres vivants du microscopique (champignons et bactéries) au macroscopique (insecte, mammifères, …). Les auxiliaires ont souvent comme rôle de réguler les ravageurs de cultures par leur mode de vie ce qui est intéressant pour beaucoup de culture dont les céréales. Ils sont ainsi séparés en trois grandes catégories qui sont les parasitoïdes, les prédateurs ou les microorganismes parasites. Le tableau en annexe montre la diversité des auxiliaires, leurs modes de vie ainsi que les méthodes pour les observer (Annexe 2).

La présence de haies diversifiées, comportant plusieurs étages de végétations, peut augmenter de près de 70 % la présence de pollinisateurs. De plus, elle peut favoriser les habitats pour les auxiliaires de culture. (Dainese et al. 2017) Par exemple, la densité d'activité des araignées et la présence de carabes augmentent significativement dans les bandes enherbées et au niveau des haies (Van Vooren et al. 2018).

En plus, la présence des haies en bordure et d'infrastructures à l'intérieur de la parcelle permettent aux populations d'auxiliaires d'accéder plus facilement à toutes les zones des parcelles agricoles. La colonisation des parcelles est plus homogène si les zones d'émigration sont bien réparties (Burel et Baudry 1999).

En effet, les linéaires sous arborés (LSA) permettent une forte augmentation de l'abondance des groupes taxonomiques (environ 55% des groupes taxonomiques observés sont plus abondants dans la LSA) tandis que seulement 14 % des groupes sont plus abondants dans l'allée cultivée. La création d'habitats servant de site d'hivernage à de nombreux animaux permet donc d'augmenter l'abondance de nombreux groupes taxonomiques dont les arachnides, les névroptères, les lépidoptères, …(Boinot et al. 2019)

De plus, il a été observé que les ravageurs des cultures (pucerons, limaces, taupins) hivernent plus souvent dans la culture alors que les auxiliaires invertébrés eux hivernent davantage dans les lignes d'arbres. Par exemple, les carabes granivores dépendent fortement des linéaires d'arbres car ils sont sensibles aux milieux perturbés (espace de culture annuelle). Ces modes de vies différentes entre les ravageurs et les auxiliaires montrent que même si l'agroforesterie permet d'augmenter la biodiversité et l'abondance d'invertébrés en général, les auxiliaires de cultures semblent être plus favorisés par rapport aux ravageurs (Boinot et al. 2019). Cependant, la présence de haies peut également affecter positivement le nombre de parasites comme les pucerons (Van Vooren et al. 2017; Dainese et al. 2017). Pour contrer cet effet négatif, les essences de la haie peuvent être choisis pour héberger le ravageur avant la culture et ainsi attirer les auxiliaires en amont.

Cependant, il existe une disparité entre l'agriculture conventionnelle et biologique, sur l'activité des prédateurs auxiliaires (notamment carabes et araignées) dans le cadre d'une parcelle agroforestière. Les prédateurs semblent être plus favorisés en agriculture biologique car leur activité-densité et leur complémentarité augmentent ce qui peut avoir un effet positif sur le contrôle biologique. Ceci s'explique par le fait que les ressources sont certainement plus abondantes en AB et les LSA servent donc de « source »[2] aux populations d'auxiliaires alors qu'en conventionnel les LSA sont des zones de « rétention[3] » qui freinent les auxiliaires et ainsi diminuent leur déplacement et leur présence dans les allées cultivées. En AB, les carabes granivores hivernent dans les LSA et sont donc favorisés (Boinot et al. 2019).

2 Zone qui favorise le développement d'une population qui va ensuite se disperser à partir de ce point.

3 Les populations se développent dans cette zone et y reste notamment car les ressources autour ne sont pas suffisantes

b. Climatique

L'agroforesterie constitue un puits de carbone qui pourrait ralentir le changement climatique. L'agroforesterie (même à faible densité, 30 à 50 arbres/ha) en culture comme en prairie permettrait d'augmenter le stockage de carbone dans les sols de 1 T/ha/an et a un potentiel de réduction des émissions de GES de près de 3,5 T/ha/an, par rapport au système conventionnel avec labour (Chenu et al. 2014). Par conséquent, cette fonction qui lui est associée pourrait permettre à la pratique de se développer grâce à des contributions monétaires qui financeraient le service rendu par l'agroforesterie et notamment les externalités dû au stockage de carbone (Lal 2010; Kay et al. 2019).

Comme il a été présenté précédemment le changement climatique pourrait entraîner une augmentation des risques d'érosion des sols et glissement de terrain. La plantation d'arbres dans les parcelles en suivant les courbes de niveau peut limiter jusqu'à 70% l'érosion des sols d'une exploitation agricole si 50% des parcelles sont arborées. Si la plantation ne suit pas les courbes de niveau l'effet de la plantation est largement limité (Palma et al. 2007).

De plus, la présence d'arbres dans les parcelles agricoles modifie le microclimat et notamment la température. En effet, les arbres ont tendance à tamponner la température, en limitant la chaleur le jour (environ – 1,2 °C) et en augmentant la chaleur la nuit (environ + 1,17 °C). Cette différence intervient en jour clair, ce qui n'est pas le cas en jours nuageux car dans la même parcelle la différence est de -0,27 °C le jour et +0,43°C la nuit (Gosme et al. 2016).

1.2.3.2 Agronomique

Les haies et bandes enherbées qui sont présentes aux pieds des arbres sont capables de capter des éléments minéraux de la surface et en profondeur grâce à leur système racinaire permanent. Ces dispositifs peuvent limiter fortement la lixiviation des éléments minéraux. En effet, elles sont capables de capter près de 70% de l'azote de surface et du phosphore et plus de 30% de l'azote en profondeur (Van Vooren et al. 2017). Ces éléments minéraux peuvent ensuite être transmis aux cultures par la décomposition de la matière organique fournie par la haie et la bande enherbée. En effet, ces systèmes dans le paysage agricole méditerranéen peuvent être particulièrement intéressants car la mise en place de couverts végétaux (type CIPAN[4]), en fin d'été et début d'automne (où la minéralisation est forte), est difficile notamment à cause du manque d'eau. (Marguerie 2020) De plus, les bandes enherbées et les haies pourraient peut-être endiguer la faim en phosphore qui s'annonce surtout en AB pour l'instant (Hélias 2019).

De plus, les racines permanentes et développées accentuent le drainage de l'eau et de l'air dans les sols grâce à la porosité qu'elles y apportent. (Boucheny 2011). En effet, dans la culture de noyer, les racines des arbres sont retrouvées plus profondément sur le rang en agroforsterie (150 cm) que dans une monoculture d'arbre (104 cm). Les racines fines des arbres peuvent également se retrouver plus profondément en agroforesterie qu'en monoculture forestière (Cardinael et al. 2015). L'arbre a le potentiel de puiser des éléments minéraux dans les horizons profonds du sol pour en faire bénéficier aux cultures et de pérenniser ainsi la fertilité du sol dans le long terme (Farcy, 2012).

D'autre études ont montré que les parcelles agroforestière avaient un LER (Land Equivalent Ratio (Mead et Willey 1980) plus important que si les productions de bois et de culture annuelle étaient séparées. La productivité globale des parcelles agroforestières peut atteindre jusqu'à 30% de biomasse en plus que sur une exploitation où les productions sont séparées

4 Cultures intermédiaires piège à nitrate

(Dupraz et Capillon 2006). Cependant, d'autres analyses montrent le contraire, comme par exemple la méta-analyse de Torralba et al, sur les études agroforestières européennes, qui met en évidence que la production de biomasse en agroforesterie est négative par rapport à une parcelle forestière plantée (Torralba et al. 2016).

La présence de linéaire de haies peut aussi entraîner une diminution du rendement. Une étude montre que dans l'ouest de l'Europe le rendement des cultures annuelles qui se situent à une distance deux fois supérieures à la taille de la haie voient leur rendement diminuer de 29 %. D'autre part, une fois cette distance dépassée le rendement a augmenté de 6% jusqu'à 20 fois la hauteur de la haie en distance (Van Vooren et al. 2017).

De plus, en région méditerranéenne (lumière contrôlée en serre, Espagne) il a été montré que les céréales telles que l'orge ou blé avaient un rendement plus important de 19 % lorsque l'exposition à la lumière était réduite de 50 % (Arenas-Corraliza et al. 2019). Dans l'étude d'Arenas-Corraliza et al (2019), le blé s'est mieux adapté à l'ombrage que l'orge grâce à un développement plus important de sa surface foliaire. Par contre, l'étude de Dufour montre que le rendement du blé a d'avantage chuté, par rapport à celui de l'orge, en présence d'arbres non taillés par rapport aux arbres taillés (plus de lumière) (Dufour et al. 2016). D'autre part, la qualité des récoltes comme celle du blé semble être conservée en agroforesterie par rapport à la monoculture. En effet, même si une baisse de rendement est observée le pourcentage de protéine reste élevé dans les grains récoltés (Dufour et al. 2013).

1.2.3.3 Économique

L'installation d'arbres dans une parcelle agricole a un coût non négligeable. Une étude de l'INRAE montre que le coût d'installation varie principalement en fonction de la variété des arbres et de la densité d'arbres implantés. En effet, une installation de 50 merisiers/ha coûte en moyenne 134 €/ha/an alors que la mise en place de noyers à 113 arbres/ha coûte en moyenne 517 €/ha/an. (Borrell 2005) La marge brute de la parcelle va également baisser avec l'installation des arbres. Une première baisse intervient au début par la diminution de la surface (ligne d'arbre) et puis au bout de quelques années les rendements agricoles peuvent chuter ce qui va faire baisser la marge brute, cette baisse devient plus forte au bout d'environ 25 ans car les arbres deviennent très imposants (Borrell 2005; Dupraz et Liagre 2011).

La valeur ajoutée sur la parcelle n'est pas constituée que par la biomasse mais passe aussi par la valorisation des productions. Le bois d'œuvre produira peut-être moins de biomasse qu'une haie diversifiée mais sera certainement mieux valorisé. Si l'on calcule le rendement d'une production de feuillus à valorisation bois d'œuvre, les coûts d'implantation et d'entretien ne sont rentabilisés que si plus de 80 % des arbres fournissent entre 0,5 et 1 m^3 de bois d'œuvre, dans le cas d'une parcelle agroforestière. Le calcul ne prend pas en compte les productions annuelles qui viennent s'additionner à la rentabilité globale de la parcelle. C'est-à-dire que la parcelle peut être rentable sans même la valorisation agricole tous les ans (J.-L. Guitton et Ginisty 1993). De même, au sein de vergers pâturés la productivité globale peut augmenter de 6 à 20 %, dans le cas d'une prairie avec des pommiers, avec une complémentarité économique des deux ateliers et développe ainsi la résilience du système (TNC 2019).

D'autre part, la législation européenne de la PAC prend en compte les surfaces agroforestières. Bien qu'elle ne soient pas rémunérées au titre de surface agroforestière mais comme SIE (surface d'intérêt écologique), elle peuvent tout de même être valorisées à travers le second pilier de la PAC sous certaines conditions de densité et de mise en place (Cavailles et al. 2015).

1.3 Evaluation et développement des pratiques agroforestières

1.3.1 Le projet SAM : Système Agroforestier Méditerranéen

Fort de la dynamique de plusieurs acteurs de la recherche (INRAE, GRAB...), de l'enseignement agricole, et du développement agricole (fédérations d'agriculteurs biologiques, CIVAM, associations locales...), le projet "Systèmes Agroforestiers Méditerranéens" (SAM), financé par le FEADER PACA, a vu le jour en 2018 pour :

- Poursuivre l'animation auprès d'agriculteurs ayant planté ou ayant un projet de plantation en agroforesterie ;
- capitaliser des références techniques, économiques et sociales sur les projets en Région SUD ;
- contribuer à la mise en place d'un réseau de parcelles expérimentales à étudier sur le long terme (Carlet et Warlop 2018).

1.3.1.1 Les missions du projet

Le projet vise en particulier les systèmes agroforestiers en maraîchage et en céréales, et associe ainsi structures et agriculteurs dans ces systèmes pour la constitution de références (suivis sur les fermes), dans le conseil à la plantation (journées d'échanges, ateliers de co-conception de parcelles, formations) et la capitalisation des projets étudiés (fiches expériences, vidéos sur les fermes). L'ensemble de ces actions s'inscrit dans une démarche d'animation régionale, et se traduit notamment par certains outils permettant la mise en lien entre producteurs et avec des structures spécialisées (ADméd 2020).

1.3.1.2 L'organisme d'accueil

Le Groupement Régional des Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (GR CIVAM PACA) est une association créée en 1979 regroupant agriculteurs et ruraux. Adhérente du réseau des CIVAM né dans les années 50, l'association a à la fois le rôle de fédération régionale des associations locales CIVAM (une douzaine d'associations à l'échelle de la Région) et celui de conduire ses actions propres auprès de ses adhérents autour :

- De l'agriculture durable, telle que vue par les réseaux CIVAM, autour des piliers environnementaux, sociaux et économiques ;
- de l'accès à l'alimentation ;
- de l'accueil social et pédagogique à la ferme.

Dans le cadre du réseau "Agricultures Durables en Méditerranée" (www.ad-mediterranee.org), le GR CIVAM PACA travaille la question de l'arbre à la ferme et l'agroforesterie depuis 2011, ce qui a conduit à l'émergence de projets locaux comme le projet SAM. Ces travaux sont conduits main dans la main avec d'autres associations CIVAM en Occitanie, dans une dynamique de réseau méditerranéen.

1.3.2 Intérêts de l'évaluation et acquisition de données dans la démarche d'innovation

Le verrouillage technologique[5] (David 1985; Arthur 1994) est un des principaux freins à l'innovation, et il est accentué par les mécanismes d'auto-renforcement (Fares, Magrini, et Triboulet 2012). Ces mécanismes se divisent en trois types : les rendements croissants à l'adoption[6], la compatibilité technologique et l'état de la connaissance. L'accumulation de l'adoption en masse d'une nouvelle technologie entraîne l'augmentation de création de connaissances de la technologie et aussi son accessibilité. Ainsi, il est beaucoup plus facile d'adopter et de rester dans une technologie connue qu'une peu répandue.

De plus, la méconnaissance des besoins et des apports de la nouvelle innovation peut entraîner des échecs avec des résultats décevants qui ne soient pas forcément dus à l'innovation mais plutôt à sa méconnaissance. Ce phénomène peut faire suite à un abandon de l'innovation à cause du manque de connaissances sur le sujet (Meynard et al. 2013).

« La recherche qu'elle soit publique ou privée, fondamentale ou appliquée, constitue même si ce n'est pas le seul, un socle essentiel sur lequel s'appuient généralement les futures innovations. » (Hervé et Vial 2019). Par contre, il est nécessaire que la recherche corresponde aux besoins des professionnels et qu'elle soit connectée aux attentes de la société. Il faut également que les travaux de recherche soient adaptés à l'appropriation de l'innovation par les agriculteur(trices) (Hervé et Vial 2019).

De plus, un des freins identifiés à la mise en place de l'agroforesterie est le résultat économique à long terme avec en général un faible retour à court-terme, que la plupart des agriculteurs ne peuvent pas couvrir financièrement sur une période de temps aussi longue (Morinay 2012). L'augmentation du temps de travail dû à cette nouvelle pratique se présente également comme un frein à l'adoption. (Lemay et al. 2003)

Il semble donc important de mesurer et référencer les avantages et inconvénients de l'agroforesterie sur un pas de temps plus court, afin de montrer les intérêts à court terme de l'agroforesterie aux agriculteurs, pour pouvoir lever certains freins à l'adoption de cette innovation.

5 Notion selon laquelle bien qu'une technologie jugée plus efficace existe, la technologie initialement choisie reste la norme

6 Plus une technologie est adoptée et plus sont rendement d'adoption croît. Elle devient alors la plus attractive.

2 Question de recherche

Comme nous avons pu le voir précédemment, l'agroforesterie est une pratique agricole qui pourrait répondre aux enjeux agricoles d'aujourd'hui et demain. La création de parcelles agroforestières au sein des exploitations agricoles méditerranéennes semble être une réponse prometteuse pour accroître la durabilité des systèmes en grande culture et répondre au changement global. Cependant, la pratique se développe assez peu, à cause notamment de freins économiques, agronomiques et sociaux chez les agriculteurs.

Afin de débloquer les freins à l'adoption de la pratique, il semble important de suivre les agriculteurs pionniers qui se lancent et d'évaluer leur projet au regard de leurs objectifs et des problématiques auxquelles ils souhaitent répondre.

Dans un contexte d'évaluation prospective de parcelles agroforestières dans la région PACA : quels sont les impacts à court terme, de la mise en place de l'agroforesterie en parcelle céréalière, en particulier sur la biodiversité fonctionnelle ?

Hypothèses :

H1 : La présence de linéaires d'arbres entourés d'une bande enherbée au sein des parcelles, même jeune (inférieur à 5 ans), a un impact sur les populations d'auxiliaires de culture.

H2 : Les objectifs poursuivis par les agriculteurs sont cohérents avec les données existantes dans la bibliographie.

Les objectifs poursuivis sont :

- d'identifier les points de questionnement des agriculteurs autour de leurs projets de plantation ;
- de répondre aux questionnements des agriculteurs sur leur projet et les bénéfices qu'ils en attendent ;
- d'évaluer l'intérêt de cette pratique dans un contexte de durabilité des systèmes agricoles en région PACA.

3 Matériels et méthodes

3.1 Sites expérimentaux

L'étude de cas a été réalisée dans cinq parcelles différentes chez cinq agriculteurs. Les parcelles sont situées dans trois départements différents que sont les Alpes-de-Hautes Provence, le Var et les Bouches-du-Rhône (Figure 6).

Les agriculteurs ont des modes de production différents et leurs parcelles agroforestières sont également conçues de manières assez différentes. De plus, bien que les cinq parcelles soient

dans un climat général assez similaire (méditerranéen) elles sont dans des milieux relativement différents.

Tableau IV : Description des parcelles d'études

Lieu et nom de la parcelle	Mode de production	Culture en place et précédent (Pr)	Durée depuis le dernier travail du sol et utilisation de PPP (produits phytopharmaceutiques)	Orientation agroforestière	Témoin agricole	Parcelle agroforestière (Figure 7 et 8)	Environnement paysager
Forcalquier **Lettre : H**	Agriculture biologique	Sainfoin Pr : Sainfoin	3 ans PPP : non	Essences Truffières principalement des chênes	Parcelle de Sainfoin située sur la même parcelle	Espacement : 9 m Année de plantation : 2020	Haies anciennes diversifiées (>30ans) proche de l'AF Route qui longe le TA
Oraison **Lettre : P**	Agriculture biologique	Maïs semence Pr : Blé tendre	1 an PPP : non	Essences forestière de haut-jet pour bois d'œuvre	Pas de témoin. Mise en place des pots entre les lignes d'arbres (18 m de distances avec les arbres)	Espacement : 36 m Année de plantation : 2017	Cours d'eau avec ripisylve Parcelle d'olivier en agroforesterie avec des PPAM Champs de céréales
Vinon-sur-Verdon **Lettre : G**	Semis-direct, agriculture raisonné	Soja Pr : Maïs	10 ans PPP : oui, Herbicides	Haies : essences forestières pour bois d'œuvre, amandiers et arbustes divers	Témoins sur la même parcelle (partie non plantée)	Espacement : 72 m Année de plantation : 2020	Chemin et champs de céréales. (« open field »)
Plan d'Aups **Lettre : C**	Semis-direct, agriculture raisonné	Prairie (avec sain foin) Pr : Prairie (+ Sainfoin)	> 5 ans PPP : non	Essences mellifères (arbres haut-jet, arbustes et lavandes)	Pas témoin agricole car il n'y a qu'une seule parcelle en prairie	Espacement : 16 m Année de plantation : 2017	Pelouse entretenu, forêt sur la face nord de la parcelle
Beaurecueil **Lettre : M**	Agriculture raisonnée	Orge d'hiver Pr : Blé	< 1 an PPP : non	Amandiers (2 variétés : Mandaline et Lauranne)	Témoin agricole en orge sur la même parcelle	Espacement : 25 m Année de plantation : 2019	Route qui longe le TA Haies et chemin proche de l'AF

3.2 Etude de la biodiversité fonctionnelle

L'étude de la biodiversité fonctionnelle des parcelles résulte de la volonté des agriculteurs et des objectifs poursuivis par le projet SAM. Autant que faire se peut, les décisions liées au suivi ont été prises en concertation avec les cinq agriculteurs de l'étude.

3.2.1 Parcelles expérimentales

Chaque relevé de biodiversité a été installé selon deux modalités chez chacun des agriculteurs sauf un. Dans la modalité agroforestières (AF), les pièges ont systématiquement été posés au niveau de la ligne d'arbres afin d'observer son influence directe sur les populations étudiées. Les linéaires d'arbres étant assez jeunes, il semblait important de se placer au plus près pour observer un effet. (Figure 9)

Dans le cas des parcelles H, G et M les témoins ont été choisis pour mesurer l'état initial de la parcelle agricole (sans arbres). C'est-à-dire, que nous avons choisi des parcelles adjacentes ayant subis le même itinéraire technique mais suffisamment éloignées (100 m minimum) de la parcelle AF pour minimiser ses influences et avoir un point zéro qui ne prend en compte que la biodiversité fonctionnelle propre à la parcelle agricole. Bien que les pots soient placés aux mêmes endroits dans la parcelle, les essences d'arbres et les méthodes d'implantation (densité, écartement) sont différentes chez tous les agriculteurs. (Tableau IV)

Au sein de la parcelle C, aucun témoin n'a pu être identifié. En effet, il n'y a aucune prairie similaire dans un rayon proche de la parcelle et les lignes d'arbres sont très proches (16 m) empêchant très certainement de distinguer l'impact de la prairie et de la ligne d'arbre sur les populations étudiées. Les mesures serviront de point zéro pour une étude à plus longs termes sur la possible modification des populations. De plus, cette parcelle toujours en herbe avec la présence d'arbres semble être un milieu peu perturbé agronomiquement (à part la récolte des foins) ce qui peut constituer un point de comparaison avec d'autres parcelles.

Quant à la parcelle P, celle-ci ne possédant pas non plus de parcelle similaire avec la même conduite agronomique le témoin est également agroforestier car il est placé entre deux lignes d'arbres. En effet, l'écartement ici est supérieur (36 m) mais peut quand même conduire à des biais. Cependant, la différence entre la ligne d'arbres et la parcelle est plus marquée. Le sol est travaillé et quasiment dépourvu d'adventices alors que le linéaire d'arbres n'a pas été touché depuis plus de trois ans mise à part des coupes d'herbes pour limiter les concurrences avec les arbres. Les choix sur les parcelles P et C, ont été dictée par des éléments bibliographiques sur l'étude des carabes et araignées. Ils avaient observé les premières différences d'abondance et population à partir de 10 m de la bande enherbée et des haies testées. (Van Vooren et al. 2018)

3.2.2 Choix des populations étudiées

Les quatre groupes taxonomiques étudiés sont les **forficules**, les **staphylins**, les **araignées** et les **carabes**. (Figure 10)

Ces groupes sont tous considérés comme des auxiliaires de culture. Nous avons choisi des auxiliaires qui sont considérés comme de bons indicateurs des milieux naturels ou transformés par l'homme comme les carabes et les araignées. (Niemelä 2013; Kromp 1999) Le choix des auxiliaires était aussi un souhait des agriculteurs de voir l'impact de leur nouvelle pratique sur ces quatre populations. Ce choix a été exprimé lors d'entretiens préliminaires réalisés en 2019.

De plus, nous avons étudié des populations qui sont sensibles aux pratiques agronomiques et à l'intégration d'éléments de paysages (haies, bandes enherbées, …) généralement moins impactés par l'homme (Diwo-Alla et Bout 2004; Van Vooren et al. 2017; BARRIER 2016; Menalled et al. 2007).

Le critère des méthodes de piégeage avait aussi son importance. Elles devaient dans l'idéal être faciles à mettre en œuvre et peu impactantes pour le travail des agriculteurs (gêne aux pratiques), étant déployées sur des parcelles agricoles, pas tout à fait adaptée à l'expérimentation. Par exemple, la disposition de tentes « malaise » n'aurait pas pu être mise en place correctement car son implantation est longue (entre 1 et 2 mois). Les biais dus à l'irrigation ou aux passages d'engins de récolte n'auraient pas pu être évités.

Tableau V : Caractéristiques principales des auxiliaires de cultures étudiées et méthodes d'observations de chaque taxon

Famille d'auxiliaire	Niche écologique	Observation/piégeage	- Ravageurs
Carabes	Apprécient les zones couvertes comme les prairies, les bords de champs mais aussi les haies. Pour que ces insectes puissent accéder à toute la surface cultivée, les parcelles de plus de 100 mètres de large doivent être divisées par des bandes relais (jachère, ourlet, haie). Les apports de matière organique sont bénéfiques à leur développement ainsi que le semis sous couvert vivant et la présence d'adventices.	-Pot Barber	- Graines d'adventices - Limaces - Insectes (taupins, mélighètes, pucerons,…)
Staphylins		-1er : pot Barber -2ème : tente malaise (car insecte volant)	Prédateurs généralistes
Araignées	Elles sont abondantes dans les jachères, ourlets et autres SIE dont une partie de la surface au moins n'est pas fauchée. Les araignées sont très sensibles aux produits phytosanitaires et aux interventions mécaniques (destruction des toiles).	-Pot Barber est la méthode la plus adaptée -Il est très facile d'observer les araignées « aériennes » grâce aux toiles d'araignées dans les parcelles.	Prédateurs généralistes : au sol ou aérien (toiles)
Forficules	Les forficules cherchent des milieux frais et fuient la lumière. On les trouvera dans les crevasses du sol, sous les écorces, dans les tiges creuses, au cœur de grosses fleurs, dans les fruits. C'est un insecte nocturne.	Observable grâce au dispositif de bande en carton installée autour de branche.	-Pucerons -psylles -œufs et larves d'insectes Secondaire : -champignons microscopiques -lichens -Végétaux tendre (types fruit mûr, débris)

			Ils peuvent être ravageurs de fruits (pêche, abricots, ...)

Source : (Merlot, Caillet-Bois, et Zurbrügg 2012) ; (Giraud 2012) ; (MASSON 2018) ; (Conseil 2005) ; (Menalled et al. 2007)

3.2.3 Pot Barber

Ce piège permet d'identifier et comptabiliser facilement les individus. Par contre, la capture est létale et ne permet pas d'étudier leurs comportements. Les pièges sont mis en place pour une durée de 7 jours et permettent de capturer la plupart des insectes marcheurs.

Les pots choisis sont de types « pot de miel » en plastique d'une capacité de 500 ml. Ils sont positionnés de manière à ce qu'ils affleurent au sol afin de ne pas gêner l'entrée des insectes. Les pots sont remplis à environ 1/3 de solution d'eau salée à raison de 200 g/L. De plus, ils sont protégés d'un toit en contreplaqué (évite les entrées d'eau) qui est positionné à environ 5 cm au-dessus du pot. (Figure 11)

Les pots ont été placés par série de 3, espacés de 10 m chacun. (Lausecker et al. 2015b) Étant donné que les arbres plantés sont relativement jeunes, les pots de la parcelle agroforestière ont été placés dans la bande enherbée aux pieds des arbres afin de maximiser les chances d'observer une modification de la faune qui pourrait ensuite avoir un impact sur les cultures. Il est donc impossible de distinguer l'impact des arbres de la bande enherbée qui les entourent. Les pots témoins ont été placés en fonction de la présence ou non d'une parcelle pouvant faire office de parcelle témoin ou sinon entre les lignes d'arbres pour la parcelle P (cf. 3.2.1). Les caractéristiques des témoins et des parcelles agroforestières sont résumés dans le Tableau V.

La première série a été mise en place le 5 juin 2020 et récupérée le 12 juin 2020 et la deuxième série a été posée le 28 juillet et récupérée le 4 août 2020.

3.2.4 Bande carton

Ce dispositif est utilisé pour quantifier les araignées et les forficules. Les insectes vont trouver refuge sous les bandes en carton et dans les ondulations du carton qui est un milieu sec, à l'abri de la lumière et aéré (BECOT et BEAUMONT 2017) (Figure 12).

Les bandes cartons ont été posées verticalement sur des échalas à 1 m de hauteur et fixées à l'aide de deux agrafes. Les bandes avaient pour dimension 17*15 cm. Les échalas ont été positionnés par 3 à 10 m d'intervalles entre chaque échalas. Comme pour les pots Barber, les deux mêmes modalités pour les parcelles ont été testées. La première série a été mise en place le 26 juin 2020 et récupérée trois jours plus tard le 29 juin 2020. La deuxième a été posée le 04 août et récupérée le 07 août 2020.

3.2.5 Identification des insectes

Les forficules dans les bandes cartons ont simplement été comptabilisés mais pas identifiés. Les staphylins piégés dans les pots Barber ont été différenciés selon leur taille comme proposés dans les protocoles Auximore (arena-auximore.fr) car c'est un groupe encore peu étudié et l'identification à l'espèce n'apporterait, pour l'instant, pas plus d'éléments sur leur rôle fonctionnel. De même, les araignées ont été triées selon les groupes d'identifications proposées dans Auximore avec les araignées thomises, lycoses et linyphides. (Lausecker et al. 2015b).

Les carabes ont pu être identifiés jusqu'au genre ou à l'espèce à l'aide de plusieurs clés d'identifications. La première est celle adaptée pour le Nord-Ouest de la France (Roger, Jambon, et Bouger 2016), la deuxième est une clé en ligne (Carabagri Xper3) adaptée de la première avec un nombre plus important d'espèces représentées (« CarabAgri » 2015) et enfin la troisième est une clé des genres de Carabes issu de Grande-Bretagne. (Hackston 2013)

3.2.6 Analyse de la biodiversité

Pour l'analyse, les populations des deux périodes de piégeages ont été rassemblées pour les pots Barber, comprenant ainsi les staphylins, araignées et carabes. L'analyse de la biodiversité est faite par le biais d'indicateurs mesurés comme l'abondance d'individus piégés selon la classification dans laquelle ils ont été triés.

Pour les carabes qui ont pu être identifiés (pour la plupart à l'espèce ou alors jusqu'au genre) trois indices de biodiversité ont été utilisés. L'indice de Shannon, l'équitabilité et la richesse taxonomique. Ils ont été calculés avec les formules suivantes :

- Richesse taxonomique : T = nombre d'espèce différentes identifié dans un milieu
- Shannon : $H' = \sum_{i}^{T} \frac{qi}{Q} * \log 2 (\frac{qi}{Q})$
- Equitabilité : $E = \frac{H'}{\log 2\, T}$
    - T : Richesse taxonomique
    - Q : Abondance totale
    - qi : Abondance du taxon i

L'indice de Shannon (ou indice de diversité) permet de comparer la structure de plusieurs populations entre elles. Plus l'indice de Shannon est grand plus la diversité est élevée. Cependant, la comparaison des structures de population se fait plus précisément par l'équitabilité. Elle permet de relativiser l'indice de Shannon par la richesse taxonomique observée car deux populations peuvent avoir le même indice de diversité mais avec des richesses taxonomiques différentes.

L'équitabilité permet de monter en une valeur comprise entre 0 et 1 la structure de la population. La valeur tend vers 0 quand la population étudiée est dominée par la surabondance d'un taxon par rapport aux autres, au contraire quand celle-ci tend vers 1 le nombre d'individus par taxon est plus équilibré (Grall et Coïc 2006; FSA 2017).

3.2.7 Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel R. L'analyse des différents échantillons observés, a été faite par des tests non-paramétriques. En effet, la normalité des données (vérifié avec le test de Shapiro) était respectée dans la plupart des cas mais l'homoscédasticité[7] (vérifiée avec le test de Bartlett) ne l'était pas, il n'a donc pas été possible de faire des tests paramétriques de comparaison des moyennes comme l'ANOVA ou le test de Student.

Les tests non-paramétriques utilisés sont donc le test de Kruskall-Wallis pour la comparaison d'au moins trois échantillons et le test de Wilcoxon pour la comparaison de deux moyennes entre elles.

7 Egalité des variances entre plusieurs échantillons

La significativité des résultats est représentée quand la p-value calculée est inférieur à 0,05. Dans le cas où une autre valeur de p-value est utilisée, elle est précisée à côté des résultats.

3.3 Evaluation prospective des parcelles

L'évaluation se base sur l'étude de cas de cinq fermes possédants chacune une parcelle en agroforesterie intra-parcellaire récemment plantée (dans les 5 dernières années). Toutes ces fermes sont situées en région PACA dans les départements suivants : Alpes-de-Haute-Provence, Var et Bouches-du-Rhône.

3.3.1 Enquête

Une première enquête sur les objectifs de la mise en place de l'agroforesterie a été réalisée chez les agriculteurs (Annexe 3). Cette enquête est relativement courte et aborde selon 4 angles différents les objectifs et attentes des agriculteurs face à l'agroforesterie. Les objectifs choisis sont semblables aux attentes de durabilité : agronomiques, sociaux, environnementaux et économiques.

Cette phase d'enquête a pour but de mettre en évidence les critères importants pour eux, ceux qui définissent le mieux leur projet agroforestier. Ainsi, cette phase va permettre de sélectionner les critères les plus importants à prendre en compte pour pouvoir retranscrire des informations qui ont du sens pour le plus grand nombre d'agriculteurs.

3.3.2 Evaluation prospective des projets

Une fois cette phase d'enquête terminée chez les tous les agriculteurs, quelques critères ont été choisis chez chacun d'entre eux.

Le choix des critères abordés dans les questionnaires avec les cinq agriculteurs s'est fait de manière subjective. C'est-à-dire que la sélection de ces critères est dépendante de l'état actuel des connaissances et de la perception de l'enquêteur vis-à-vis des réponses de tous les agriculteurs enquêtés.

En effet, chaque agriculteur a pu s'exprimer sur les objectifs qui les a poussé à mettre en place l'agroforesterie sur sa parcelle. Les critères qui reviennent plusieurs fois sont amenés à être étudiés car ils permettent sans doute de répondre à un questionnement global de la plupart des agriculteurs. De même, l'objectif ou les objectifs que les agriculteurs ont exprimé comme principaux dans leur projet seront confrontés aux données présentes dans la bibliographie.

Les critères choisis sont les suivants :

1. Quel est l'impact sur le chiffre d'affaires de l'implantation d'amandier en agroforesterie
2. Quel est l'intérêt des haies brise vent en agriculture ?
3. Quel est le potentiel de réduction de la température grâce à l'agroforesterie intra-parcellaire ?
4. La plantation d'arbres augmente-t-elle la fertilité des sols ?
5. L'implantation d'arbre de haut-jet réduit-il l'érosion des sols ?

Ensuite, les critères ont été évalués en fonction des éléments bibliographiques disponibles sur chaque sujet. En effet, le but de cette étude est de faire une ébauche de réponse à une question que s'est posée un ou plusieurs agriculteurs. Dans la démarche d'animation, ces ébauches auront pour but d'étudier les sujets, qui répondent à des questions précises d'agriculteur, tout

en élargissant la réponse par rapport à l'état actuel des connaissances. Ce petit référentiel de quelques objectifs principaux pourra servir à répondre aux questionnements d'agriculteurs s'interrogeant sur l'agroforesterie ou qui sont en phase de développement d'un projet.

4 Résultats et discussion

4.1 Étude de la biodiversité fonctionnelle

4.1.1 Forficules

Les résultats présentés sont issus du premier relevé, le second n'ayant piégé que très peu de forficules (3 sur les 30 pièges), il ne présente pas assez de données pour pouvoir être analysé et ce bien que les forficules soient actifs du printemps à l'automne. De plus, durant la première période de relevé, les bandes cartons du témoin de la parcelle P, ont été endommagés par le passage des enrouleurs d'irrigation ce qui ne permet pas de les intégrer dans les résultats.

En moyenne, sur toutes les parcelles, le nombre de forficules présents dans la bande carton situées dans la ligne d'arbre est de 3,2, par bande carton, lors du premier prélèvement alors qu'il est de 0,1 dans les parcelles témoins, ce qui est significativement différent d'un point de vue statistique (Figure 13).

Bien qu'en cumulant toutes les parcelles, le résultat soit significatif, des variabilités s'observent entre chacune d'elles. La figure 14 récapitule les résultats retrouvés par parcelle et les différences statistiques calculées.

Après analyse, modalité par modalité et parcelle par parcelle, aucun résultat n'est significatif à 0.05 près. Cependant, la parcelle M en AF et la parcelle C en AF sont très proches statistiquement d'être différentes des autres (différente à p-value = 0.1). De même, la parcelle P en AF a également une moyenne élevée par rapport aux autres mais la variabilité des données (évaluée à travers l'écart-type) est encore plus forte, ne permettant pas de la classer comme différente (Figure 14).

La très faible présence des forficules lors de la deuxième période de piégeage est peut-être due à une plus faible présence des adultes. En effet, les meilleures périodes pour capturer des forficules sont en juin et en septembre qui sont les mois où il y a beaucoup de spécimens adultes (Albouy, Caussanel, et Hodebert 1990). Il est également possible que les fortes chaleurs à cette période et le manque d'humidité n'ait pas favorisé leur présence dans les pièges car ils se réfugient la journée dans des zones légèrement humides (Chabrol 1993).

La mise en place de linéaires d'arbres pourrait possiblement entraîner une régulation de ravageurs comme le puceron grâce à cette population plus élevée de forficules. Certaines espèces sont capables de se déplacer des infrastructures telles que les haies vers un verger de pommiers (Dussaud 2006). L'étude de Dussaud (2006), montre que leur déplacement varie surtout en fonction de leur régime alimentaire. On peut imaginer qu'en cas de proies dans la culture ils seraient capables de s'y rendre pour chasser. De plus, dans une expérimentation sur du blé le forficule a été classé parmi les trois prédateurs principaux de ce parasite, avec une bonne capacité à les chasser malgré une pression faible. (Sunderland et Vickerman 1980). Les forficules sont également capables de grimper sur les plantes ce qui facilite leur chasse (Sunderland et Vickerman 1980). Bien qu'ils soient parfois considérés comme parasites

notamment sur des fruitiers, ils se nourrissent essentiellement de végétaux déjà morts (saprophages). (Albouy, Caussanel, et Hodebert 1990)

En outre, l'expérience ne montre qu'une différence en termes d'abondance entre la ligne d'arbre et la parcelle. Or il serait également intéressant de voir s'il y a un gradient de distance à l'arbre pour montrer l'effet possible de ces prédateurs sur les populations de ravageurs. En effet, leur forte présence dans les lignes d'arbres semble corrélée au fait qu'ils sont souvent retrouvés dans les arbres entre le mois de mai et la fin de l'été. Ils grimpent dans les arbres pour chasser la nuit et trouvent refuge le jour dans la litière ou sous les écorces de bois principalement. (Corroyer s. d.). De plus, ils ont souvent tendance à creuser leurs galeries dans le sol où ils y déposent leurs œufs et s'occupent de leur progéniture. (Albouy, Caussanel, et Hodebert 1990; HARIVELO RAVAOMANARIVO 2014) Ceci pourrait être un facteur explicatif de leur forte présence dans la ligne d'arbre, notamment pour la parcelle M, là où le sol n'est pas travaillé et donc les galeries ne sont pas perturbées.

La variabilité entre les parcelles pourrait aussi être due à la nature des arbres car beaucoup de forficules ont été retrouvés au niveau de la parcelle d'amandier (parcelle M). Afin de vérifier cette abondance dans les lignes d'arbres, il conviendrait de multiplier le nombre de pièges, en faisant au moins un relevé par mois de mai à septembre (période d'activité des forficules) et en augmentant le nombre de bandes cartons pour obtenir un plus grand nombre de forficules dans les parcelles où leur présence est faible et ainsi limiter la variabilité des résultats qui est forte. La mise en place et le comptage n'étant pas très coûteux ni en matériel ni en temps, l'augmentation est réalisable.

Pour finir, les bandes cartons utilisées ne semblent pas convenir pour l'observation d'araignées car sur les 60 bandes posées au cours de l'expérience seulement une seule araignée a été observée. Il semble donc plus pertinent d'utiliser d'autre pièges tels que les pots Barber pour les observer et les comptabiliser.

4.1.2 Araignées et staphylins

Au sein de la parcelle M, les pots ont été détruits lors des deux prélèvements. Lors du premier, ce sont les pots en agroforesterie et lors du deuxième ce sont les pots de la parcelle témoin qui ont été retrouvés cassés sûrement à cause des animaux sauvages (sangliers, …). Les points de comparaison étaient donc impossibles entre les deux modalités et entre les parcelles car un seul prélèvement était analysable sur les deux périodes. Les résultats partiels de cette parcelle n'ont pas été intégrés aux résultats des carabes, staphylins et araignées.

L'analyse globale entre les parcelles en AF et les parcelles en TA montre qu'il y a une différence significative sur l'abondance d'araignées et de staphylins dans les lignes d'arbres étudiées comparativement aux témoins agricoles (Figure 15).

Les résultats sont aussi très dépendants des parcelles (Tableau VI) :

- Dans les parcelles G et H, l'abondance d'araignées est relativement similaire entre les deux parcelles et entre les modalités de chaque parcelle (20 à 30 par modalité). Bien que les deux parcelles soient différentes (lieu et conduite), ce sont les parcelles où les plantations d'arbres sont les plus jeunes et ou le sol n'a pas été perturbé depuis au moins 3 ans, ce qui peut favoriser les araignées alors qu'une perturbation du sol peut être délétères pour elles. (Lausecker et al. 2015a)
- Dans la parcelle P, plus ancienne, les différences sont plus visibles. En effet, dans celle-ci il y a six fois plus d'araignées en AF (78) qu'en TA (12).

- De plus, au regard de toutes les parcelles, l'abondance d'araignées dans la parcelle C est élevée (95 araignées) et similaire à la parcelle P en AF.

Cette large différence dans la parcelle P pourrait mettre en évidence un fort impact de la ligne d'arbres sur les populations d'araignées. En effet, cette parcelle a été labourée récemment avant l'implantation du maïs. Les araignées étant assez sensibles au travail du sol, c'est peut-être un facteur explicatif de leur faible abondance dans le témoin.(Lausecker et al. 2015a) D'un autre côté, la ligne d'arbre est présente depuis 2017, ainsi le milieu a été moins perturbé à cet endroit-là ce qui pourrait expliquer une plus forte abondance d'araignées. Dans ce cas, la ligne d'arbre avec la bande enherbée semblent être favorable aux araignées ce qui est corrélé avec l'étude des bandes enherbées et les haies qui montrent une plus grande activité des araignées au sein de celles-ci que dans la parcelle agricole. (Van Vooren et al. 2018)

En ce qui concernent les populations de staphylins, des constats similaires peuvent être fait[8] (Tableau VI):

- Les parcelles H et G ont une abondance très faible, voire nulle de ce taxon dans les deux modalités.
- La parcelle P bénéficie comme les araignées d'une abondance significativement plus forte en AF que dans le TA et est proche de celle de la parcelle C qui a l'abondance la plus élevée des parcelles.
- Bien, que l'abondance en AF soit quasiment la même pour les deux parcelles précédentes, les staphylins retrouvés dans la parcelle P sont tous petits (<1,5cm) alors que dans l'autre on retrouve, à égale proportion, les deux premières catégories de taille identifiées (jusqu'à 2,5 cm).

La taille des staphylins varie de 1 mm à 40 mm et leur régime alimentaire est lié en partie à leur taille. Les plus gros vont chasser des limaces, pucerons, chenilles ou encore des taupins alors que les plus petits s'attaquent plutôt aux collemboles, acariens et nématodes (PRDA 2019).

Il est donc possible que la ligne d'arbres avec la bande enherbée soient un refuge pour les staphylins. Cependant, les staphylins sont assez sensibles aux engrais phosphorés et azotés ainsi qu'aux insecticides et c'est dans la parcelle H en AB qu'ils sont le moins retrouvés alors que les perturbations semblent faibles (pas d'engrais minéraux ni de PPP). Par contre, dans la parcelle G, des herbicides ont été utilisés durant la saison mais aucun engrais n'a été appliqué. (Lausecker et al. 2015c)

Cependant, il est difficile de discuter les résultats d'abondance des staphylins, car c'est une communauté peu étudiée notamment en agronomie.

4.1.3 Carabes

4.1.3.1 Etudes des communautés de carabes

Les tests statistiques réalisés n'ont révélé aucune différence sur les abondances des carabes entre les modalités agroforestières et les témoins agricoles (p-value=0.68). Cependant, les moyennes de captures se situent à 4 carabes par pot pour les TA et 5,3 carabes pour les AF.

8 Bien que les différences statistiques observées sont faibles à cause de la variabilité des données qui est très forte.

Chaque indice mesuré ou calculé met en évidence des particularités différentes entre les parcelles et les modalités (Tableau VII) :

- **L'abondance (A**) : elle varie en fonction des parcelles et des modalités. Par exemple, les deux modalités de la parcelle P ont une abondance similaires (environ 30 carabes) alors que les modalités des parcelles G et H ont des abondances qui semblent différentes (bien que non montré par les tests statistiques). En effet, l'abondance est beaucoup plus grande en AF pour la parcelle G (41 contre 8) et dans la parcelle H c'est l'inverse avec une abondance supérieure en TA (21 contre 8). Ici, seule la parcelle H semble suivre les tendances observées sur des essais à Restinclières, avec une abondance légèrement plus grande dans le témoin agricole que dans la parcelle agroforestière (HAMON 2009 ; Colomb 2010). Au vu des résultats, les modalités ne semblent pas être les facteurs principaux qui expliquent l'abondance.

- **Richesse taxonomique (T)** : les parcelles C AF, P AF et TA et G AF ont le plus de taxons différents représentés dans leurs parcelles (entre 8 et 10). Les parcelles H TA et AF ainsi que la parcelle G TA ont une richesse taxonomique plus faible avec 3 à 5 taxons représentés. Cependant, il faut noter que la richesse taxonomique ne reflète pas les différents taxons retrouvés. Par exemple, dans la parcelle H la richesse est de 5 pour les deux modalités mais seulement un seul taxon est le même entre les deux modalités. De même pour la parcelle P, où sur les 19 taxons piégés, dans les deux modalités, 12 sont différents.(Figure 16 et 17) Une étude sur les bandes enherbées (sans présence d'arbres) a également révélé que les taxons retrouvés étaient significativement différents dans le témoin agricole éloigné de 10 et de 30 m de la bande enherbée (Van Vooren et al. 2018). Les éléments sur le milieu de vie des espèces identifiées ne permettent pas de conclure sur une réelle spécificité de certaines espèces à la bande enherbées et à la ligne d'arbre. Par contre, cela montre une influence de la ligne d'arbre sur la nature des taxons retrouvés, bien qu'il faille le vérifier sur plusieurs années. Des études montrent que les taxons peuvent être influencés par la présence d'élément en bordure, par exemple dans l'expérimentation de Diwo-Alla et Bout (2004), après trois ans le nombre d'espèces pionnières a reculées au profit des espèces plus adaptés quand il y avait présence de haies.

De plus, or exception comme la parcelle C, proche d'une forêt, où l'on retrouve *Carabus Coriaceus* et *Abax parallelepipedus* (Charrier, Petit, et Burel 1997) et la parcelle H proche d'une ancienne haie où *A.parallelepipedus* est également présent. La plupart des autres espèces retrouvées en AF ne sont pas des communautés retrouvées généralement en forêt, tout comme le montre l'expérience sur une parcelle à Sablonceaux (Boucheny 2011).

Les fortes différences d'abondance et de richesse taxonomique dans la parcelle G peuvent être expliquées par plusieurs hypothèses :

→ L'agriculteur pratiquait déjà le semis-direct (depuis 2010) qui est normalement bénéfique pour une majorité de carabes qui nichent dans les premiers centimètres de sol (Rabourbin, Dor, et Maillet Mezeray 2011). L'application à plusieurs reprises d'herbicides sur la parcelle a pu contribuer à la baisse de population dans la partie cultivée (BAUDRY 2006).

→ La haie et la bande enherbée n'ont pas été désherbées ce qui a pu être bénéfique aux populations de carabes non adaptés aux perturbations, bien qu'elles soient très jeunes (plantation à l'hiver 2019-2020). Les deux prélèvements effectués montrent un impact positif de la mise en place de la haie sur l'abondance et la diversité des carabes. Dans

ce système la haie pourrait servir de zone refuge aux carabes et également développer leur diversité.

- **La structure des populations (Eq)** : Entre le TA et AF les structures sont quasiment similaires au sein de toutes les parcelles. Les parcelles H et P ont une structure de population relativement similaires d'un point de vue de l'équitabilité avec une ou deux espèces légèrement plus dominantes que les autres. La parcelle G est plus déséquilibrée avec une ou deux espèces beaucoup plus abondantes que les autres, ce qui fait tendre l'équitabilité vers 0 en comparaison aux autres parcelles. La parcelle C a un indice moyen se rapprochant des parcelles H et P. Les structures retrouvées ici, semblent être différentes entre les parcelles plutôt qu'entre les modalités. Dans l'essai à Restinclières, la structure des populations varie entre les modalités avec un fort équilibre (valeur proche de 1) pour la bande enherbée (au pied des arbres) et une valeur de 0,51 dans le témoin agricole. La valeur du témoin se rapproche de celles des parcelle P et H par contre la valeur de la bande enherbée en agroforesterie est nettement différente de tous nos indices d'équitabilité mesurés en AF. Cependant, il faut noter que la plantation sur la parcelle de Restinclières était âgée de 15 ans (Colomb 2010). En effet, dans l'ensemble des parcelles plus jeunes du projet CASDAR Agroforesterie l'indice d'équitabilité des témoins agricoles et parcelles agroforestières confondu varie autour de 0,5 (+/- 0,03) ce qui est plus proche des valeurs retrouvées sur la plupart des parcelles sauf G (Boucheny 2011).

Pour finir, la quantité de carabes piégés dans notre expérimentation est en moyenne de 5 carabes/pot/semaine. En milieu cultivé, elle est en moyenne de 20 carabes/pot/semaine (HAMON 2009) or dans notre étude la quantité est bien inférieures à celle-ci. Il possible qu'avec seulement deux périodes de piégeages, la probabilité de tomber sur un moment de plus faible activité est possibles. Cependant, bien que l'intensité de piégeage soit beaucoup plus faible ici le nombre de carabes capturés reste bien plus important en proportion que sur des essais menés en agroforesterie sur le site de Restinclières où le rendement moyen de piégeage était proche de 1 carabe/pot/semaine (Colomb 2010; HAMON 2009). On retrouve donc des similitudes entre parcelles en contexte méditerranéen, notamment sur l'abondance des taxons qui semble plus faible qu'ailleurs.

4.1.3.2 Intérêt agronomique des populations observées

Les communautés rencontrées dans les parcelles ainsi que dans les modalités sont généralement assez différentes. L'intérêt de montrer cette diversité peut être intéressant pour les agriculteurs. De plus, la diversité observée est peu représentée dans les calculs d'indices écologique. Les trois tableaux ci-dessous représentent les espèces retrouvées dans chaque modalité et les espèces communes aux deux. Les tableaux donnent une vision simplifiée du régime alimentaire que peut avoir chaque espèce (s'il est connu) et le facteur principal de sa présence dans la modalité. Les espèces en gras sont celles qui ont été majoritairement retrouvées sur la parcelle. Les espèces communes aux 2 modalités sont également indiquées.

a. Parcelle H

Tableau VIII : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle H. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence.

Espèces **TEMOIN AGRICOLE**	Rôle auxiliaires (Garcin, Picault, et Ricard 2011) (DIWO ALLAIN et ROUGON 2003)	Facteurs de présence dans la modalité
Poecillus	Coléoptère, Lépidoptères, Homoptères, acariens, collemboles	Milieu ouvert

Brachinus explodens	hétéroptères, lépidoptères et pucerons	
Anchometus dorsalis		Milieu ouvert instable ou temporaire
Pterostichus niger	limaces ou pucerons	Milieu ouvert
AGROFORESTERIE		
Microleste	Pucerons	Milieu ouvert
Harpalus oblitus	Omnivore : graines et pucerons	
Loricera pilicornis	Diptère (cécidomyies), pucerons, collemboles	
Harpalus fuscipalpis	Omnivore : graines et pucerons	
Abax parallelepipedus	Carnivore : limaces ou larves d'insectes	Présence d'une haie ancienne
COMMUNES		
Harpalus oblitus	Omnivore : graines et pucerons	Milieu ouvert

c. Parcelle P

Tableau IX : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle P. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence

Espèces **TEMOIN AGRICOLE**	Rôle auxiliaires (Garcin, Picault, et Ricard 2011) (DIWO ALLAIN et ROUGON 2003)	Facteurs de présence dans la modalité
Harpalus	Omnivore : graines et pucerons	Milieu ouvert
Dromius fenostratus		
Bembidion tetracolum		
Poecilus kugelanni		
Brocus nobilis		
Microleste	Pucerons	
Dromius fenostratus		
Bembidion quadrimaculatum	Zoophage : 'œufs et de larves de mouche, pyrales, noctuelles, pucerons, tipules, cécidomyies	Milieu ouvert avec présence d'eau proche
AGROFORESTERIE		
Calathus fuscipes	Essentiellement zoophage : limaces, insecte et autres arthropodes	Milieu ouvert
Bembidion prsoperans		
Harpalus affinis	Polyphage : graines et céréales périodiquement zoophage (taupin, diptères)	
Paradromius linéaris		
Brachinus	zoophage strict : puceron, lépidoptères	
Cylindra germanica	zoophages stricts : chenille de carpocapse et fourmis	

COMMUNES		
Poecillus cureus	Limaces et de nombreux ravageurs des cultures, et parfois certains végétaux (graines)	Milieu ouvert
Poecillus sp		
Pseudophonus rufipes	Mollusque et vers mais aussi polyphage (graines, pucerons, cicadelle)	Grand pouvoir de déplacement (milieu ouvert instable)

d. Parcelle G

Tableau X : Communautés de carabes rencontrées dans les deux modalités de la parcelle G. Description de leurs régimes alimentaires et facteur probable de présence

Espèces	Rôle auxiliaires (Garcin, Picault, et Ricard 2011) (DIWO ALLAIN et ROUGON 2003)	Facteurs de présence dans la modalité
TEMOIN AGRICOLE		
Anchometus dorsalis	hétéroptères, lépidoptères et pucerons	Milieu ouvert instable ou temporaire
AGROFORESTERIE		
Pterosticus melanarius	Limaces, coléoptères, des pucerons, des Lépidoptères et des mouches	Ubiquiste (forestier, ouvert, …)
Brachinus explodens	zoophage strict : puceron, lépidoptères	Milieu ouvert
Calathus fuscipes	Essentiellement zoophage : limaces, insecte et autres arthropodes	
Cylindra germanica	zoophages stricts : chenille de carpocapse et fourmis	
Pterostichus cristatus		
COMMUNES		
Pseudophonus rufipes	Mollusque et vers mais aussi polyphage (graines, pucerons, cicadelle)	Grand pouvoir de déplacement (milieu ouvert instable)
Calathus luctuosus		Milieu ouvert

La diversité des espèces retrouvées entre les modalités des trois parcelles (G, H et P) semble forte. En effet, bien qu'elles soient pour la grande majorité inféodées aux milieux ouverts, peu d'espèces dans chaque parcelle sont communes aux deux modalités. Cette différence comme expliquée dans la partie 4.1.3.1, peut être dû à une multiplication de facteurs explicatifs qui sont les éléments en bordure (haie ancienne, bosquets …) ou une parcelle perturbée par l'ITK suivi par l'agriculteur qui permet à la haie récemment plantée de créer une zone refuge.

Les différences observées en termes d'espèces peuvent être bénéfiques en terme de gestion de ravageur car comme le montrent les tableaux, les régimes alimentaires différents entre les espèces et le fait d'avoir une diversité plus importante pourrait amener à la régulation d'un spectre plus large de ravageurs.

4.1.4 Discussion des méthodologies de piégeage

Le piégeage à lieu sur uniquement deux périodes ce qui semble assez faible pour caractériser l'ensemble des populations et des dynamiques sur la saison de production. En effet, il est possible que les moments de piégeages aient été très favorables ou très défavorables sur les parcelles sans que l'on puisse le savoir. Par exemple, dans le projet CASDAR agroforesterie, les dynamiques de populations de carabes semblent être corrélées avec les conditions climatiques, une activité plus importante a été enregistrée quand les températures sont modérées et qu'il persiste une certaine humidité (Boucheny 2011). De plus, une plus forte intensité de piégeages permettrait certainement de diminuer la variabilité des résultats et ainsi de conforter des résultats ou au contraire les réfuter avec une plus grande précision. Il faudrait au moins multiplier par deux les piégeages, en réalisant les premiers en mai et juin et les seconds mi-juillet jusqu'à mi-septembre. Les deux saisons de piégeage permettraient de récupérer les populations plutôt printanières et les populations estivales et pré-automnales. En effet, les araignées sont souvent plus actives en été alors que les populations de carabes peuvent préférer une saison à l'autre ou être présentes sur les deux saisons (Garcin, Picault, et Ricard 2011).

D'un autre côté, il est difficile avec les simples pièges Barber d'estimer l'effet de prédation que peuvent avoir les auxiliaires sur les différentes populations de ravageurs des cultures. En effet, étant des auxiliaires assez généralistes, bien que chaque espèce ait ses préférences, il est difficile de mesurer au champ l'impact qu'a le cortège d'auxiliaires sur certaines populations de ravageur sachant qu'il existe bien plus de diversité d'auxiliaires que celles étudiées (Annexe 2). Par contre, la dynamique de la biodiversité fonctionnelle étudiée pourrait intéresser les agriculteurs afin d'estimer si les pics d'activité et d'abondance des auxiliaires est en phase avec l'apparition des parasites qui peuvent nuire à leurs cultures. Dans la suite des expérimentations, il serait également intéressant de fournir une clé simple aux agriculteurs qui leur permettraient de noter l'émergence des parasites et l'évolution qu'ils observent sur leur parcelle. En fin de saison, les résultats entre activité des parasites et auxiliaires pourraient ainsi être corrélés. Ces dispositifs sont néanmoins assez chronophages et nécessitent du temps de suivi pour les agriculteurs pas toujours faciles à trouver pendant la saison de production.

Il très probable que la biodiversité mesurée ainsi que les différences observées entre les parcelles AF et les TA ne soient pas dues à la présence des arbres mais plutôt à la présence de la bande enherbée laissée autour des arbres, qui est peu ou pas perturbée (fauche dans certains cas). Pour autant, si les agriculteurs n'avaient pas mis en place ce système il n'y aurait certainement pas de bandes enherbées au milieu des parcelles qui, au regard des premières mesures, semble dans certains cas influencer la biodiversité présente. Par ailleurs, comme le montre la bibliographie, les éléments topographiques peuvent aussi être responsables des différences observées. Ils constituent également des difficultés à trouver des témoins sans arbres de nature par ailleurs identique aux parcelles plantées.

Cette étude révèle bien des différences notamment au niveau des espèces rencontrées entre les parcelles cultivées et les lignes d'arbres agroforestiers. En effet, des espèces différentes sont rencontrées mais cela reste à confirmer lors de prochains relevés pour avoir plus de données et si possible répétés sur une plus grande échelle de temps. Des expériences de trois ans menées également sur les carabes en parcelle agroforestière montrent une variabilité interannuelle forte avec des tendances qui peuvent complètement s'inverser entre les différentes années de mesure (Boucheny 2011). La continuité de ces mesures sur un minimum de deux ans est nécessaire pour pouvoir confirmer ou non les premières tendances observées. Un stage de 6 mois est également prévu en 2021, dans la continuité et avec les acquis du stage 2020.

En ce qui concernent les bandes en carton, elles sont très intéressantes à conserver car elles constituent un suivi simple où le nombre de mesures peut être multiplié facilement sans grande contrainte de temps. Par contre, au vu du nombre extrêmement faible d'araignées piégées sur ce dispositif, il semblerait qu'il soit très peu adapté pour ce taxon.

La bibliographie présente dans des conditions de mesures similaires (parcelles agroforestières jeunes en contexte méditerranéen) est assez limitée avec seulement quelques sources dont principalement le projet CASDAR Agroforesterie (Boucheny 2011) et les essais du projet PIRAT à Restinclières (Zone Méditerranéenne) (HAMON 2009; Colomb 2010). D'autres éléments ont pu être comparés à des systèmes un peu différents comme les bandes enherbées et les haies (Van Vooren et al. 2018) et l'impact des éléments paysagers (Diwo-Alla et Bout 2004; Van Vooren et al. 2017).

Pour finir, le début du stage a été perturbé suite au contexte de crise sanitaire et l'arrivée dans la structure a eu lieu seulement début juin (au lieu de fin mars). Cette arrivée tardive a ralenti la progression du stage et a également retardé le démarrage des suivis de terrain.

4.2 Analyse des projets

La réalisation des enquêtes (cf paragraphe 3.3.1) sur les 5 fermes suivies dans le cadre du stage a conduit à tenter de confronter la bibliographie avec certains des objectifs poursuivis par les céréaliers lors de l'implantation de leur parcelle. Cette seconde approche se base donc plutôt sur une entrée prospective de l'agroforesterie céréalière au vu de ces objectifs. Elle ne permet cependant pas une analyse très fine au cas particulier des parcelles, tant les paramètres à prendre en compte sont nombreux. Elle constitue néanmoins une première approche à confronter au développement réel de chacun des projets à plus long terme.

4.2.1 L'impact sur le chiffre d'affaire de la parcelle M

Cet agriculteur, a implanté des amandiers de deux variétés différentes avec un espacement de 25 m entre les deux lignes (92 arbre/ha). L'objectif principal de cette implantation est d'obtenir une rentabilité économique plus importante sur une parcelle de céréale dont la rentabilité est faible compte tenu de potentiels de rendement limités. En effet, la culture d'amande en Provence est en plein essor avec une demande du marché sur ce produit (Cathala 2019).

L'agriculteur a donc soucis de connaître le possible écart de rentabilité sur ce système par rapport au système céréalier pur sachant que la valorisation de l'amande pourrait se faire à la ferme. (Tableau XI)

La culture intercalaire d'amandier permet d'avoir un chiffre d'affaire estimé, trois fois supérieur au maintien de céréales seule. Cependant, ces données s'appuient sur des chiffres théoriques dans lesquels plusieurs manques sont notables :

- Le coût d'implantation lié à la parcelle n'a pas été calculé, l'ensemble des opérations ayant été réalisées par le personnel du lycée agricole avec souvent du matériel à disposition, ce qui exclue notamment les coûts de main d'œuvre liés à la création de la parcelle ;
- la plupart des chiffres de référence sont basés sur des coûts de production et de valorisation fluctuants (ex du blé) ou basés sur des moyennes (durée de vie de production pour l'amandier). Les coûts peuvent également varier très fortement sur les 35 ans de cultures calculés ;

- les rotations en céréales évoluent au fil du temps et intègrent souvent des légumineuses une, deux ou trois années avant de réintégrer des céréales. A fortiori, cette nuance peut être transposable sur les parcelles de céréales comme celles en agroforesterie, ce qui modifie le chiffre d'affaires global mais pas la comparaison possible entre les deux systèmes.

Bien que les amandiers risquent de limiter le rendement des céréales à long terme, une étude en Iran montre que le rendement de céréales (blé et orge) plantées au pied (à 0,5 m) des amandiers (âgés de 7 ans) a nettement diminué (perte de 25 à 30 %) par rapport au témoin en culture seule, cependant le rendement en céréale a largement augmenté (gain de 35 à 40 %) à 2,5 m du pied des arbres toujours par rapport au témoin. Cette expérience laisse supposer que les amandiers n'ont pas beaucoup d'impact sur les cultures ou s'ils en ont il sera compensé par l'augmentation dans l'inter-rang. (Abbasi Surki et al. 2020) Dans la parcelle agroforestière les cultures commencent uniquement à partir de 2,5 m de l'arbre donc dans l'étude économique le rendement n'a pas été modifié entre le témoin agricole et la parcelle AF.

4.2.2 L'efficacité des haies brise-vent en grande culture

L'agriculteur dans la parcelle (G) concernée ressent l'impact négatif du vent sur ses cultures et notamment sur l'ETP des plantes et le rendement final de la parcelle. En effet, il a l'impression que le besoin en eau des cultures est surexprimé en période de vent par rapport à d'autres parcelles et qu'il pourrait réduire la fréquence d'arrosage s'il n'y avait pas autant de vent. De plus, cette consommation excessive d'eau, lui fait penser que les plantes « travaillent » trop pour puiser l'eau dans le sol ce qui pourrait amener à des stress sur le long terme.

L'agriculteur a donc commencé à planter des haies multi-espèces comprenant des strates différentes sur une parcelle de 25 ha. Celles-ci sont plantées avec un espacement de 72 m. Les deux premières haies ont été plantés durant l'hiver 2019, et le projet est de planter encore 6 linéaires sur les deux ans qui suivent.

Les haies aux bords et au sein des parcelles sont des éléments qui ont de multiples influences et qui pourraient impacter positivement et négativement sa parcelle (Tableau XII) :

Tableau XII : Bénéfices/Risques à la mise en place de haies brise-vent

Bénéfices	Risques
- Une fois la distance de deux fois supérieures à la taille de la haie (2H) dépassée le rendement a augmenté de 6 % jusqu'à 20 fois la hauteur de la haie en distance. (Méta-analyse de 60 études, Van Vooren et al. 2017). - Les pertes d'eau par évaporation sur un sol nu peuvent être réduites de 20 à 40 % grâce au brise-vent (Guyot 1989). - Dans l'expérience de Radke et Hagstrom (1976) les rangs de soja était protégé par des brise-vent de maïs espacé de 10 H (hauteur du maïs adulte). Ici l'eau est généralement mieux utilisée par les plantes grâce à la	- Une étude montre que dans l'ouest de l'Europe le rendement des cultures annuelles qui se situent à une distance de 2H voient leur rendement diminuer de 29 %. (Van Vooren et al. 2017) - Durant les années humides, les brise-vent peuvent augmenter l'incidence de maladies fongiques (Brandle, Hodges, et Zhou 2004). - Le premier brise-vent est généralement plus efficace que les suivants. Derrière le 1er les vents à fortes vitesses qui passent au-

présence de ce brise-vent. Les plants de soja sont d'ailleurs plus haut à côté du brise-vent et ont une ETP plus faible que ce non protégés. - Les brise-vent peuvent également favoriser une meilleure distribution de l'eau des systèmes d'irrigation par aspersion (Desmarais et Pesant 1989).	dessus se rabattent au sol à une distance de 15 fois la hauteur du 1er, lorsqu'un 2ème brise-vent est mis en place les vents à fortes vitesses se rabattent au sol à environ 9 fois la hauteur du brise-vent. Il est donc efficace sur une distance plus courte (Verbrugghe 1989).

L'implantation à 72 m semble justifiée car si les brise-vent sont trop proches les uns des autres l'effet de chacun est plus limité sur le vent (Verbrugghe 1989) et les cultures peuvent en souffrir car cela crée des tourbillons derrière la haie. L'effet brise vent des haies est proportionnel à leur hauteur. De même, il faut veiller à ce que la haie soit perméable (minimum 30 %) pour que le vent soit freiné mais non bloqué (comme avec des haies de cyprès ou thuyas) ce qui provoque des turbulences derrière la haie, annulant ainsi son effet positif de réduction de vitesse des vents (Liagre 2006).

L'implantation de haies semble être un bon moyen de contrer les stress que peuvent subir les cultures annuelles dûes au vent. En effet, l'amélioration de l'utilisation de l'eau est un enjeu clé dans la zone méditerranéenne notamment pour la conservation des cultures de printemps. De plus, le rendement total de la parcelle peut augmenter grâce à la haie ce qui entraîne un bénéfice net pour l'agriculteur. Ces deux principaux impacts positifs devraient se développer à mesure que la haie va pousser et peuvent être visible quelques années après la plantation (à partir de 5 ans) (Figure 18 et 19) (Liagre 2006).

4.2.3 Limiter l'érosion avec l'implantation d'arbres de haut-jet (parcelle P)

La parcelle concernée (P) est certifiée en agriculture biologique et l'agriculteur pratique régulièrement le travail du sol pour mettre en place ses cultures. De plus, la parcelle est située proche d'un cours d'eau et elle est en zone inondable, avec une dernière inondation survenue en fin d'hiver 2019-2020. L'agriculteur souhaite que sa plantation d'arbres limite l'érosion du sol sur sa parcelle d'autant plus que son sol est plutôt sensible à ce phénomène. En effet, c'est un sol contenant beaucoup de limons qui est positionné sur un lit de rivière (galets).

La question est donc, d'évaluer dans quelle mesure la plantation d'arbre de haut-jet intra-parcellaire est capable de limiter l'érosion des sols. Une réponse peut être fournie par les éléments suivants :

- La limitation de la vitesse des vents de 50 km/h à 30km/h permet de réduire par trois le risque d'érosion éolien sur un sol nu. Les arbres plantés vont certainement contribuer à la réduction des vents et donc limiter l'érosion éolienne qui peut avoir lieu (Woodruuf et al 1977).
- La gestion de l'érosion des sols est souvent réalisée à l'échelle d'un paysage, ce qui permet une meilleure gestion globale des sols et de l'érosion. Une étude a montré qu'à l'échelle d'un paysage si 50 % des parcelles sont arborées avec des lignes d'arbres positionnées en suivant les courbes de niveau, la réduction de l'érosion des sols peut atteindre 70 %.(Palma et al. 2007)
- Une étude a été réalisée en région rurale de Tapajos au Brésil sur l'impact de l'agroforesterie dans la limitation de l'érosion hydrique et de la réduction de la libération de mercure, sur des sols en pente moyenne (20 %) et forte (> 30 %). La

parcelle avec un système agroforestier (AFS sur le graphique) de deux ans comprenant une bande enherbée permanente, a permis de réduire largement la perte de sol au niveau de la parcelle agricole par rapport au système de culture sur des parcelles sans arbre (Figure 20). La parcelle agroforestière a un potentiel de limitation de l'érosion similaire à la forêt (Béliveau et al. 2017).

L'implantation d'arbres dans les parcelles sensibles à l'érosion semble être un très bon moyen de diminuer l'érosion des sols. Même s'il est préférable que l'aménagement des arbres soit réalisé à l'échelle d'un paysage, la mise en place de linéaires d'arbres a quand même un effet bénéfique contre l'érosion des sols qu'elle soit dûe à l'eau ou au vent.

4.2.4 Améliorer la fertilité des sols dans deux parcelles de conception différentes (C et G)

L'enjeu à moyen terme soulevé par deux agriculteurs est l'amélioration de la fertilité du sol grâce à la présence d'arbres, et le gain de matière organique qu'ils pourraient apporter. La parcelle G comme expliquée dans la partie 4.2.1 est constituée de haies successives assez espacées. La parcelle C, quant à elle, est une prairie permanente semée en sainfoin. L'objectif de plantation et le choix des essences étaient plutôt portés sur le pouvoir mellifère des espèces et l'étalement dans le temps de la production de fleur, afin d'alimenter un réseau de ruches. Les rangs sont également multi-étages avec des arbres de haut-jet, des arbustes et des lavandes qui sont espacés de 16 m.

Les deux agriculteurs interrogés sont soucieux d'améliorer la fertilité dans leur sol. Ils pratiquent déjà le semis direct en essayant de maintenir le plus de couverts végétaux possibles. L'intégration de l'agroforesterie pourrait être, en plus du semis-direct, un moyen pour parvenir à l'amélioration de la fertilité des sols.

En agroforesterie, l'apport de fertilisant par les arbres n'a pas été démontré. Par contre, plusieurs autres phénomènes ont pu être mesurés :

- **Le gain de matière organique** : L'agroforesterie constitue un puits de carbone organique qui pourrait ralentir le changement climatique. L'agroforesterie (même à faible densité, 30 à 50 arbres/ha) en culture comme en prairie permettrait d'augmenter le stockage de carbone dans les sols de 1 T/ha/an et a un potentiel de réduction des émissions de GES de près de 3,5 T/ha/an, par rapport au système conventionnel avec labour, ce qui est nettement supérieur à tous les autres systèmes de cultures (semis-direct, réduction de travail du sol ou mise en place de culture intermédiaire). De plus, il faut noter que l'agroforesterie n'est pas antagoniste avec la mise en place de couverts végétaux et du semis-direct dans les parcelles qui ont aussi un potentiel de stockage de carbone et de diminution des émissions de GES (Chenu et al. 2014). L'apport de matière organique (MO) permet une meilleure structuration physique de sols notamment quand la MO se complexe avec l'argile. De plus, elle est susceptible d'apporter et surtout de stocker des éléments fertilisants qui seront libérés par la minéralisation des MO faite par les microorganismes du sol.
  Une deuxième analyse sur les haies a montré qu'après avoir dépassé une distance de 4,3 fois la hauteur de la haie les apports de MO étaient négligeable. Par contre, le sol contenait 9 % de MO en plus, que sans présence de la haie, à 1 fois la distance de la hauteur de la haie (Van Vooren et al. 2017).
- **La rétention des minéraux :** Les haies plantées dans les parcelles sont capables de retenir jusqu'à 70 % d'azote et de phosphore qui se trouvent en surface et 30 % de l'azote qui se trouve en profondeur. Cependant, cet effet est corrélé à la largeur de la

haie, plus la haie est large plus l'interception de minéraux est forte et inversement. En dessous de 1 m de largeur l'interception de minéraux est très faible (Van Vooren et al. 2017). Les éléments minéraux interceptés par les haies pourront en partie être transmis par la matière organique produite.

- **Apport de MO :** La mise en place d'arbres avec des potentiels fertilisants comme les fixateurs symbiotiques tels que l'acacia, peut apporter de l'azote dans les sols. Des essais au Congo et au Brésil ont montré que l'installation d'eucalyptus avec des acacias permettait de mieux retenir l'azote apporté dans des plantations de caféier tout en accumulant de l'azote dans la litière.(Bouillet, Laclau, et Harmand 2007).
  La mise en relation de plantes par les mycorhizes peut être un facteur important de fertilité des sols. Ces champignons sont par ailleurs capables de mobiliser le phosphore non-assimilable par les plantes. Certaines espèces de champignons mychoriziens sont capables d'avoir plusieurs hôtes à la fois ce qui permet de relier les plantes entre elles et la présence de deux strates différentes (arbre et culture) permet une augmentation de la diversité des souches de mycorhizes (Chifflot 2008).

Dans un contexte où il est difficile de mettre en place des couverts végétaux (Marguerie 2019a) qui peuvent procurer des effets similaires en termes de fertilité, la mise en place d'arbres est un bon moyen de maintenir la fertilité des sols tout en limitant les pertes d'éléments fertilisants. De même, chez les producteurs en AB où la destruction des couverts peut être plus problématique. (GABB32 2012) La parcelle C avec un écartement beaucoup plus restreint que la parcelle H (16 m contre 72 m) pourra certainement bénéficier d'effets plus importants en ce qui concerne la rétention de minéraux et l'apport de MO qui semblent être corrélé avec la distance aux arbres et la largeur des linéaires.

Bien que l'arbre puisse rentrer en concurrence avec les plantes cultivées sur de multiples paramètres (lumière, minéraux, eau, … notamment), la rétention et l'apport probable d'éléments minéraux notamment avec les symbioses que les arbres peuvent réaliser, ainsi que l'apport de matière organique et le stockage de carbone dans les sols montrent l'intérêt que l'arbre peut avoir dans les parcelles conduites en grande culture. Au-delà de l'apport, pour l'agriculteur, la rétention d'éléments minéraux tels que l'azote et le phosphore permettent de limiter la pollution des eaux d'origine agricole, ce qui est un atout majeur pour la mise en place de système durable et peu impactants sur l'environnement. C'est également le cas pour potentiel de stockage de carbone et de limitation des émissions de GES.

4.2.5 Limiter les fortes chaleurs grâce à l'agroforesterie intra-parcellaire (parcelle C et P)

La limitation des chaleurs a été évoquée par deux des cinq agriculteurs. La parcelle P est une parcelle qui a été plantée avec une diversité d'essence de haut-jet dans le but de faire du bois d'œuvre. L'écartement entre les lignes est de 36 m. L'agriculteur a évoqué le fait que la parcelle soit soumise à de fortes chaleurs qu'il espère atténuer avec la présence des arbres.

Quatre expériences dans des systèmes agroforestiers différents ont montré l'impact des arbres sur les températures dans les parcelles :

a. La première est une expérience sur des taillis à courte rotation (TCR) qui mesurent entre 3 m et 5 m et qui comprend environ 9 200 arbres/ha. Les rangées sont écartées de 48 m et la parcelle se situe au sud de Berlin et la culture en place est du blé.

   La température est généralement plus basse le jour et plus haute la nuit entre les lignes de TCR. Les écarts mesurés sont plus importants en juin qu'en avril et sont d'autant

plus importants que les températures sont élevés. En juillet la température moyenne relevé dans la bande était de 22,6°C alors qu'elle était de 26 ,0°C dans le témoin (« open field »). Cependant, les moyennes relevées ne reflètent pas les variations perçues dans une journée. Par exemple, la température était plus faible de 7°C dans la partie agroforestière durant la journée du 20 juillet, alors qu'elle était plus chaude de 5°C dans la nuit du 22 mai.

Des effets du microclimat sont notables, par exemple dans la zone de 3 m à l'ouest du TCR la température est plus élevée de 1,2°C par rapport au témoins agricoles (« openfield »), alors qu'elle était inférieure de 0,5°C sur les 3 m à l'est de la bande sur les horaires matinaux.

Dans cette expérience, l'écart de température semble être dû principalement à l'ombrage que procure le TCR. De plus, la vitesse du vent sur le côté ouest des bandes a été significativement réduit (Kanzler et al. 2019). Les TCR ne s'intègrent pas généralement aux pratiques agroforestières, mais ces informations peuvent être intéressantes néanmoins dans notre étude, en particulier du fait de l'âge jeune des taillis étudiées et de leur écartement important.

b. Dans le sud de l'Italie, c'est l'effet d'une haie de 3 m de hauteur positionné au nord de la parcelle qui a été étudié.
La haie a entraîné une augmentation de la température sur une distance de 4,7 fois sa hauteur (H). De plus, l'évapotranspiration a été atténuée sur une distance de 12,7 H et diminuée de 16 % sur la même distance que l'augmentation de température.
Au final, la haie a modifié le microclimat de la parcelle et les paramètres de culture. Le blé a donc utilisé moins d'eau et en plus le rendement a été supérieur sur une distance de 18 H. (Campi, Palumbo, et Mastrorilli 2009)

c. Dans cette expérience sur le site de Restinclières, , parcelle expérimentale également en contexte méditerranéen (Hérault), deux types de parcelles agroforestières étaient présentes avec des arbres de 15 m (frênes) et d'autre de 30 m (peupliers).

Cette expérience montre également que lors des jours ensoleillés les différences de températures sont plus visibles que les jours nuageux. Les parcelles agroforestières ont tendance à tamponner la température, en limitant la chaleur le jour (environ – 1,2 °C) et en augmentant la chaleur la nuit (environ + 1,17 °C). Alors que les jours nuageux la différence est de -0,27 °C le jour et +0,43°C la nuit. De même, la variabilité entre les jours était importante et les extrêmes relevés étaient des différences de température supérieures de 4°C la nuit et inférieurs de plus de 4°C le jour en système agroforestier par rapport au système ouvert.

La conclusion a mené au fait que les écarts étaient surtout dû à une modification des transferts radiatifs (notamment dû à l'ombrage). De plus, les différences de températures sont plus importantes au printemps et en été lorsque les arbres ont des feuilles plutôt qu'en automne et hiver (Gosme et al. 2016).

d. Une autre expérience dans des conditions similaires mais avec des arbres plus jeune (entre 5 et 7 ans) en intra-parcellaire a montré que la température entre les allées était plus élevée dans la parcelle agroforestière que dans le champ témoin. Cette augmentation de température serait due à une réduction du vent suffisante pour

augmenter la température sans augmentation de l'ombre qui modifie les transferts radiatifs (Karki et Goodman 2013).

Ces publications suggèrent plusieurs choses au niveau des parcelles agroforestières et de leurs impacts notamment sur la température :

- La diversité des données recueillies montre qu'il peut y avoir quelques risques les premières années d'observer un effet inverse à celui attendu.
- Par contre, dans les systèmes plus ancien (> 15 ans), les résultats montrent que le système agroforestier tamponne les températures en les diminuant le jour et les augmentant la nuit.
- Dans les systèmes céréaliers, cette différence de température qui peut dépasser les 5°C le jour pourrait limiter fortement les risques d'échaudage surtout en climat méditerranéen et dans un contexte de changement climatique où le nombre de jours de risque d'échaudage risques d'augmenter (BELLEGARDE 2018).

4.2.6 Perspective d'évolution des surfaces en agroforesterie

Une des réflexions générales des agriculteurs est la mise en place à grande échelle de l'agroforesterie que ce soit au niveau national ou sur leur ferme. C'est-à-dire qu'elle ne serait pas mise en place uniquement sur une parcelle mais sur une majorité des surfaces de l'exploitation. Une implantation sur une proportion non négligeable aurait certainement des coûts de mise en place très important à l'échelle de l'exploitation, comme a pu nous le transmettre un agriculteur dont le coût d'implantation de la parcelle s'élève à 10 000 €/ha. Même si le coût pourrait être revu légèrement à la baisse (Comm personnelle Christian Rastello), l'investissement reste non négligeable à l'échelle d'une ferme.

L'investissement sans retour financier à court terme, comme montré dans le paragraphe (1.3.2), est un des principaux freins à l'implantation de parcelles agroforestières. Dans le cas, d'un déploiement à grande échelle comme ça pourrait être réalisé selon les estimations de Pellerin et al. (2013) où un plus d'un tiers de la SAU française aurait les conditions requises pour la plantation, il serait nécessaire de prévoir un retour financier à court-terme pour les agriculteurs.

Aujourd'hui, les agriculteurs souhaitant convertir leur parcelle en agroforesterie peuvent être aidés par des entreprises et fondations telles que CAPTE (association qui a financé le projet de la parcelle H), Pur Projet ou encore la SCOP Agroof au niveau de la région méditerranéenne. Ces organismes collectent principalement leur fond auprès d'entreprises qui souhaitent investir dans des projets agro-écologique et compenser une partie de leurs émissions carbone en implantant des arbres. Ce type de financement est pour l'instant favorable pour la mise en place de petits projets (de quelques hectares), mais pourraient-elles suffire si l'agroforesterie était déployée sur des surfaces beaucoup plus importantes ?

Un autre moyen est l'attribution d'aides dans le cadre du second pilier[9] de la PAC (politique agricole commune) avec la rémunération dû à l'implantation de SIE[10] (surface d'intérêt écologique) sur la ferme qui est une solution de rémunération à court terme de l'agroforesterie. Cependant, cette rémunération ne compense qu'une petite partie des frais engendrés par l'implantation. D'autres solutions sont proposées, comme le paiement pour les services écosystémiques rendus avec l'implantation d'arbres et de haies. Cette rémunération

9 L'implantation de SIE si elle représente plus de 5 % de la SAU de l'exploitation est une des conditions qui permettent aux agriculteurs de toucher le « **paiement vert** », à hauteur de 84€/ha/an en France

10 Les SIE sont des éléments du paysage (rapporter en surface) qui permettent de favoriser la biodiversité tels que des arbres, des haies, des mares, …

serait basée sur les externalités positives produites par des pratiques agricoles plus agroécologique, dont fait partie l'agroforesterie. Ce paiement contribuerait fortement d'après Kay et al. (2019) à l'augmentation des surfaces conduites en agroforesterie car la rémunération issue de ces parcelles serait certainement plus élevée que les parcelles en culture conventionnelle. Cette absence de paiement des services écosystémiques est pour l'instant un facteur important de verrouillage des pratiques agroécologiques innovantes (Puydarrieux et Devaux 2013).

Conclusion

La production céréalière en contexte méditerranéen est soumise à des aléas grandissant. Un contexte climatique difficile entraîne de fortes contraintes en terme de gestion des cultures et de l'eau notamment. De plus, la filière céréale est en déclin à cause d'une faible rentabilité pour les agriculteurs surtout dans la culture principale qui est le blé dur. Les agriculteurs sont donc en quête de durabilité pour faire face aux problématiques environnementales et économiques en particulier.

Un réseau naissant d'agriculteurs en région PACA, se lance dans l'agroforesterie en parcelle céréalière. Ces agriculteurs ont des attentes et questionnements variés sur leur système. D'un autre côté, le manque de référence et de données techniques se fait aujourd'hui ressentir pour la mise en place et la gestion de l'agroforesterie intra-parcellaire. L'acquisition progressive de données et l'installation de plus en plus d'agriculteurs auraient pour conséquence l'amélioration de la technique, l'acquisition accrue de connaissances et l'accessibilité à celle-ci.

L'objectif du stage était de comprendre le questionnement et les objectifs des agriculteurs afin d'entreprendre les démarches pour répondre à leurs problématiques. Une demande générale était d'observer l'influence de l'arbre sur la biodiversité fonctionnelle en parcelle agroforestière jeune. L'autre partie est basée sur une analyse prospective des objectifs des agriculteurs au regard de leur projet.

En premier lieu, la présence de linéaire d'arbres semble influencer la biodiversité étudiée. L'abondance d'araignées, staphylins et forficules est en moyenne plus importante dans les linéaires d'arbres avec des bandes enherbées que dans les parcelles témoins étudiées. De plus, les espèces de carabes retrouvées dans les témoins agricoles et les lignes d'arbres sont assez différentes entre les deux modalités testées (agroforesterie et témoin agricole). Au sein d'une même parcelle, bien que la structure des populations soit très proche entre les modalités, peu d'espèces identiques ont été identifiées entre les lignes d'arbres et les témoins.

Par contre, les différences observées sont très dépendantes des parcelles avec des tendances notamment sur l'abondance de carabes qui semble s'inverser entre les modalités de deux parcelles différentes. De même, certaines observations comme la différence d'abondance d'araignées, sont très significatives dans certaines parcelles et pas vérifiées dans d'autres.

L'étude de biodiversité a permis de collecter les premières données sur ces parcelles et a pu mettre en évidence certaines différences mais il reste nécessaire de mesurer l'évolution sur au moins deux ans de plus, avant de pouvoir confirmer les premières tendances observées.

L'analyse prospective a permis d'identifier plus précisément les objectifs des agriculteurs sur leur projet agroforestier. L'étude s'est focalisée sur cinq objectifs et a permis de rassembler des éléments bibliographiques permettant d'alimenter les réponses à leurs questionnements.

Après analyse, les objectifs semblent cohérents avec ce qui a pu être démontré scientifiquement. Cependant, les données utilisées sont propres à un contexte particulier et ne s'accordent pas forcement sur les résultats avec notamment des variations en fonction de l'âge ou de la conception des systèmes étudiés.

De plus, les bénéfices que peut avoir l'agroforesterie comme l'effet brise-vent, la réduction de lixiviation des minéraux ou encore la réduction des températures, peuvent se mesurer au bout de quelques années seulement (environ 5 ans pour les brise-vents par exemple). Ils ont tendance à s'intensifier au fur et mesure de la pousse des arbres et des haies pour la plupart des objectifs analysés. Ces résultats montrent bien que l'agroforesterie, au regard de certains objectifs, peut avoir un effet à court et moyen terme.

Les données bibliographiques utilisées ne se veulent pas exhaustive et intègre de nombreux biais par rapport aux projets étudiés. L'analyse a soulevé des éléments qui pourront être utilisés dans le cadre de l'animation de projets agroforestier.

Les éléments mesurés et analysés durant ce stage montrent l'intérêt et l'impact que l'agroforesterie peut avoir à court-terme sur les parcelles et systèmes agricoles. Dans le processus d'innovation, l'utilisation de ces éléments dans le cadre de l'animation peut en partie éclairer les agriculteurs qui se questionnent sur le sujet. De plus, la continuité des suivis notamment sur la biodiversité fonctionnelle courant 2021 et l'élargissement à la filière régionale (lien avec les différents acteurs de la filière céréalière) de l'analyse prospective permettront très certainement d'alimenter les discussions autour des premiers résultats et de faire évoluer les données présentées.

Bibliographie

Abbasi Surki, Ali, Monir Nazari, Sina Fallah, Ramin Iranipour, et Asghar Mousavi. 2020. « The Competitive Effect of Almond Trees on Light and Nutrients Absorption, Crop Growth Rate, and the Yield in Almond–Cereal Agroforestry Systems in Semi-Arid Regions ». *Agroforestry Systems* 94 (3): 1111-22. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00469-2.

ADméd. 2020. « Carte - Agricultures Durables en Méditerranée ». ADméd. 2020. http://ad-mediterranee.org/Carte?pr_production%5B%5D=tout&pr_thematique%5B%5D=association_cultures_agroforesterie&pr_type=all&submit=Rechercher.

ADOCOM RP. 2016. « LA BIO PASSE A LA VITESSE SUPERIEURE EN REPONSE AUX ATTENTES DES CITOYENS-CONSOMMATEURS ». Dossier de presse. France: Agence Bio. http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/dossier_de_presse_mai_2016_pdf.pdf.

Agence bio. 2019. « L'Agriculture Biologique en PACA fin 2018 : Plus du quart des surfaces (...) - Les agriculteurs Bio de PACA ». Bio Provence. 2019. http://www.bio-provence.org/L-Agriculture-Biologique-en-PACA-fin-2018-Plus-du-quart-des-surfaces-agricoles.

Alaoui, Si Bennasseur. 2005. « Référentiel tehcnique pour la conduite de l'amandier (Prunus amygdalus batsh) ». Maroc: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Albouy, Vincent, Claude Caussanel, et Gilbert Hodebert. 1990. *Dermaptères ou perce-oreilles*. Édité par Fédération française des sociétés de sciences naturelles. Paris, France: Fédération française des sociétés de sciences naturelles.

ALCOVER, Anaïs, Matthieu BAMEULE, Isabelle BOYER, Henri DUVAL, Florence FRAISSE, et Fabrice LHEUREUX. 2017. « REFERENTIEL TECHNIQUE POUR LA CULTURE DE L'AMANDIER EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR ». Référentiel Technique. PACA: Chambre d'agriculture de PACA.

AREFA PACA. 2019. « L'agriculture en PACA | AREFA PACA ». ANEFA. 2019. http://paca.anefa.org/lagriculture-en-paca.

Arenas-Corraliza, M.G, V Rolo, M.L Lopez-diaz, et G Moreno. 2019. « Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions | Scientific Reports », 2019, Nature édition.

Arthur, W.B. 1994. *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. https://www.press.umich.edu/10025/increasing_returns_and_path_dependence_in_the_economy.

Bachevillier, Yves, Christian Dupraz, André Gavaland, Pierre Labant, Alain Canet, Fabien Liagre, et Xavier Hamon. 2008. « Agroforesteries : la revue Française des arbres ruraux », nº 1 (juillet): 36.

Balny, Phillippe, Denis Domallain, et Michel De Galbert. 2015. « Promotion des systèmes agroforestiers Propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles ». 14094. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

Barbier, J.M, C Baury, P Bertuzzi, Alberte Bondeau, et V Couderc. 2016. « Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». Cahier thématique du groupe de travail « Agriculture et forêt ». GREC-PACA. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01871694.

BARRIER, Alexia. 2016. « Impact du contexte paysager sur le service écosystémique rendu par les auxiliaires en grandes cultures ». Mémoire de fin d'étude. La Roche-sur-Yon: Chambre d'agriculture de la Vendée.

BAUDRY, Jacques. 2006. « Analyse agronomique et écologique des unités spatio-temporelles pertinentes pour la gestion de la biodiversité », ACTION PUBLIQUE, AGRICULTURE ET BIODIVERSITE, , avril, 31-37.

BECOT, Ambroise, et Nicolas BEAUMONT. 2017. « Suivis de la biodiversité fonctionnelle dans les vergers du réseau ARBRE (EcoOrchard) ». 17. Maine-et-Loire: La Feuille d'A.R.B.R.E.

Béliveau, Annie, Marc Lucotte, Robert Davidson, Serge Paquet, Frédéric Mertens, Carlos J. Passos, et Christine A. Romana. 2017. « Reduction of Soil Erosion and Mercury Losses in Agroforestry Systems Compared to Forests and Cultivated Fields in the Brazilian Amazon ». *Journal of Environmental Management* 203 (décembre): 522-32. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.037.

BELLEGARDE, Benjamin. 2018. « Adaptations au changement climatique du BLÉ TENDRE ». Fiche technique présenté à Chambre d'Agriculture Pays de le Loire, Pays de la Loire, juin. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2018_ORACLE_PDL_Ble_tendre.pdf.

Bengtsson, Janne, Johan Ahnström, et Ann-Christin Weibull. 2005. « The Effects of Organic Agriculture on Biodiversity and Abundance: A Meta-Analysis ». *Journal of Applied Ecology* 42 (2): 261-69. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x.

Berlingen, Fanny. 2019. « Label Haie : lancement officiel au Ministère de la Transition Écologique et Solidaire - Afac-Agroforesteries ». Afac-Agroforesteries - Le réseau des professionnels de l'arbre hors-forêt. octobre 2019. https://afac-agroforesteries.fr/label-haie-lancement-officiel-au-ministere-de-la-transition-ecologique-et-solidaire/.

Boinot, Sébastien, Delphine Mézière, J-P Sarthou, P-E Lauri, et K Barkaouï. 2019. « Plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers tempérés : influence des linéaires sous-arborés ». Livret de Thèse. France: INRAE.

Borrell, Thomas. 2005. « Evaluation technico-économique d'un atelier agroforestier : Investissement, Rentabilité, Temps de travail ». Montpellier, janvier 26. http://www1.montpellier.inra.fr/safe/conferences/Paris/5-Aspects%20%E9conomiques-INRA.pdf.

Boucheny, Patrick. 2011. « Améliorer l'efficacité Agri-environnementale des Systèmes Agroforestiers ». CASDAR Agroforesterie 2009-2011. France: Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres. https://www.agroforesterie.fr/CASDAR/20092011/documents/Casdar-agroforesterie-2009-2011-1.4-RAPPORT-final_CA79_synthese-biodiversite.pdf.

Bouillet, Jean-Pierre, Jean-Paul Laclau, et Jean-Michel Harmand. 2007. « Evolution de la fertilité des sols, maintien de la qualité des eaux. Alternative aux engrais azotés en milieu forestier et agroforestier ». In *Sans actes*, 2. Montpellier: CIRAD.

Brandle, J.R., L. Hodges, et X.H. Zhou. 2004. « Windbreaks in North American Agricultural Systems ». *Agroforestry Systems* 61 (1): 65-78. https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028990.31801.62.

Burel, F, et J Baudry. 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Tec et Doc Lavoisier. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS. https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/ecologie-du-paysage-9782743003050/.

Campi, P., A. D. Palumbo, et M. Mastrorilli. 2009. « Effects of Tree Windbreak on Microclimate and Wheat Productivity in a Mediterranean Environment ». *European Journal of Agronomy* 30 (3): 220-27. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.10.004.

« CarabAgri ». 2015. Dynafor. 2015. https://dynafor.toulouse.inra.fr/carabagri/index.php?sujet=cle.

Cardinael, Rémi, Zhun Mao, Iván Prieto, Alexia Stokes, Christian Dupraz, John H. Kim, et Christophe Jourdan. 2015. « Competition with Winter Crops Induces Deeper Rooting of Walnut Trees in a Mediterranean Alley Cropping Agroforestry System ». *Plant and Soil* 391 (1): 219-35. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2422-8.

Carlet, Florian, et François Warlop. 2018. « Projet "Systèmes Agroforestiers Méditerranéens" PACA - 3 ans pour faire avancer la pratique ». ADmed. 2018. http://ad-mediterranee.org/PEI-Agroforesteries-PACA-3-ans.

Cathala, Agnès. 2019. « Relancer la filière amande ». *TRAVAUX & INNOVATIONS*, mars 2019.

Cavailles, Emilie, Christophe Pinard, Emilie Michel, et Laurent Percheron. 2015. « L'AGROFORESTERIE : ET LES ARBRES RURAUX DANS LES REGLEMENTATIONS AGRICOLES L'AGROFORESTERIE ». Chambres d'agriculture France – APCA. https://www.agroforesterie.fr/RRAF/actualites/2017/documents/Guide-AFAF-APCA-L-agroforesterie-et-les-arbres-ruraux-dans-les-reglementations-agricoles-foire-aux-questions-version-12-juin-2017.pdf.

Chabrol, laurent. 1993. « LE PERCE-OREILLE, UN AUXILIAIRE MÉCONNU ». *Biologie des espèces*, Insectes, , nº 88: 23-24.

Chanzy, Andre, Yves Bidet, Elodie Briche, Pierre Carrega, Ghislain Dubois, Xavier GIRAUD, Joel Guiot, et al. 2017. *Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur,*. GREC-PACA. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01607699.

Charrier, Sophie, Sandrine Petit, et Françoise Burel. 1997. « Movements of Abax Parallelepipedus (Coleoptera, Carabidae) in Woody Habitats of a Hedgerow Network Landscape: A Radio-Tracing Study ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 61 (2): 133-44. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01101-2.

Chenu, Claire, Katja Klumpp, A. Bispo, D. Angers, C. Colnenne, et Aurelie Metay. 2014. « Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France ». *Innovations Agronomiques* 37: 23-37.

Chifflot, Vincent. 2008. « ÉTUDE MOLÉCULAIRE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ARBUSCULAIRES DANS UN SYSTÈME AGRISYLVICOLE », 102.

Colomb, Vincent. 2010. « EVALUATION COMPAREE DE L'IMPACT DES AMENAGEMENTS AGROFORESTIERS SUR LES POPULATIONS DE CARABIDAE ». PIRAT. Restinclière: AGROOF. https://agroof.net/recherche/fichesR&D/pirat.html.

Conseil, Mathieu. 2005. « Les auxiliaires communs en cultures légumières biologiques ». ITAB.

Corroyer, Nathalie. s. d. « Favoriser les auxiliaires dans les vergers cidricoles : Les forficules ». doczz.net. Consulté le 24 août 2020. http://doczz.net/doc/6832389/les-forficules---chambre-r%C3%A3%C2%A9gionale-d-agriculture.

Dainese, Matteo, Silvia Montecchiari, Tommaso Sitzia, Maurizia Sigura, et Lorenzo Marini. 2017. « High Cover of Hedgerows in the Landscape Supports Multiple Ecosystem Services in Mediterranean Cereal Fields ». *Journal of Applied Ecology* 54 (2): 380-88. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12747.

David, Paul A. 1985. « Clio and the Economics of QWERTY ». *The American Economic Review* 75 (2): 332-37.

Desmarais, Camille, et Yvon Pesant. 1989. « Les brise-vent : le rôle des brise-vent en agricuture au Québec ». Conseil des production végétale du Québec. https://www.agrireseau.net/grandescultures/documents/92715/les-brise-vent-le-r%C3%B4le-des-brise-vent-en-agriculture-au-quebec.

DIWO ALLAIN, Sabine, et Daniel ROUGON. 2003. « CARABES : auxiliaires des cultures, indicateurs de la Biodiversité d'un milieu ». CRITT Inophyt.

Diwo-Alla, S, et A Bout. 2004. « Impact des aménagements paysagers et des techniques culturals sur les carabes, auxilaires de culture ». In , 91-98. St Pierre des corps.

Dufour, L., Jérémy André, Jimmy LE BEC, et Christian Dupraz. 2016. « Influence of tree pollarding on crop yield in a mediterranean agroforestry system ». In .

Dufour, L., A. Metay, G. Talbot, et C. Dupraz. 2013. « Assessing Light Competition for Cereal Production in Temperate Agroforestry Systems Using Experimentation and Crop Modelling ». *Journal of Agronomy and Crop Science* 199 (3): 217-27. https://doi.org/10.1111/jac.12008.

Dupraz, Christian, et A. Capillon. 2006. « L'agroforesterie: une voie de diversification écologique de l'agriculture européenne? » *Cahier d'étude DEMETER - Economie et Stratégies agricoles*, janvier, 101-13.

Dupraz, Christian, et Fabien Liagre. 2011. *Agroforesterie: des arbres et des cultures*. France Agricole. Paris, France: Groupe France agricole.

Dussaud, Audrey. 2006. « Mouvements des auxiliaires entre la haie et le verger. Cas des forficules F. auricularia et F. pubescens ». Report. IUT. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (UAPV), Avignon, FRA. https://hal.inrae.fr/hal-02821290.

Fares, M'Hand, Marie-Benoit Magrini, et Pierre Triboulet. 2012. « Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières | Cahiers Agricultures », Cahiers agriculture, 21 (1): 34-45. https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539.

FSA. 2017. « Centrale hydroélectrique d'Entraunes : étude d'impact sur l'environnement ». Hydro-M, expertise, étude, conseil.

GABB32. 2012. « Couverts végétaux, Techniques superficielles, Agriculture Biologique et Agroforesterie ». Synthèse. Auch et Marciac, France.

Garcin, Alain, Sébastien Picault, et jean-Michel Ricard. 2011. « Les Carabes en cultures fruitières et légumières ». *CTIFL*, septembre 2011.

Garrigue, Marius. 2020a. « Cours de l'orge de printemps (prix et analyse) ». Terre-net. 2020. https://www.terre-net.fr/marche-agricole/orge-brassicole/physique.

———. 2020b. « Prix du blé dur - Cotations et analyses - Marché physique ». Terre-net. 2020. https://www.terre-net.fr/marche-agricole/ble-dur/physique.

Giraud, Angélique. 2012. « Les auxiliaires des cultures : arboriculture, maraîchage, grandes cultures ». CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'ARDECHE. synagri.com.

Gosme, Marie, Lydie Dufour, Hector Daniel Inurreta Aguirre, et Christian Dupraz. 2016. « Microclimatic Effect of Agroforestry on Diurnal Temperature Cycle ». In , 183-86. Montpellier, France: INRAE. https://hal.inrae.fr/hal-02744212.

Grall, J, et N Coïc. 2006. « Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier ». Synthèse. Bretagne: REBENT : réseau benthique.

GREC-SUD. 2017. « GREC-SUD – Découvrez Le Cahier Climat ». GREC-SUD. 1 juin 2017. http://www.grec-sud.fr/cahier-thematique/le-cahier-climat/.

———. 2018. « GREC-SUD – La Conduite Culturale Du Blé Selon l'évolution Du Potentiel de Production ». GREC-SUD. 11 juillet 2018. http://www.grec-sud.fr/article-cahier/les-articles-du-cahier-agriculture-et-foret/lagriculture-regionale-face-au-defi-climatique/la-conduite-culturale-du-ble-selon-levolution-du-potentiel-de-production/.

Guitton, J. L., Christian Dupraz, Daniel Auclair, et F. X. De Montard. 1994. « Quel projet agroforestier pour l'Europe tempérée? » *Revue Forestière Française*, 46.

Guitton, J-L, et C Ginisty. 1993. « Les plantations à grands espacements », nº 90: 8.

Guyot, G. 1989. « Les effets microclimatiques des brise vent et des amenagements regionaux ». *Techniques agricoles*, nº 1170: 1-27.

Hackston, Mike. 2013. « Family Carabidae Key to genus after Lindroth (1974) adapted by Mike Hackston (2013) ». Clé de détermination. Grande-Bretagne: Royal Entomological Society.

HAMON, Xavier. 2009. « Etude de l'impact des aménagements agroforestiers sur les coléoptères carabidae ». PIRAT. Restinclière: AGROOF. https://agroof.net/recherche/fichesR&D/pirat.html.

HARIVELO RAVAOMANARIVO, Lala. 2014. « Processus écologiques - Les Dermaptères ». UVED. 2014. https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/PP_Dermapteres.html.

Hélias, Régis. 2019. *Vers une faim de phosphore en agriculture biologique ?* Interview. pleinchamp. https://www.youtube.com/watch?time_continue=19&v=nqfeyUw4tkQ&feature=emb_logo.

Hervé, Betty, et Anne-Claire Vial. 2019. « L'innovation en agriculture ». 1. Paris: CESE. https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2019/2019_01_innovation_agriculture.pdf.

Jézéquel, S. 2015. « Stress hydrique et stress thermique : à la recherche de variétés de blé adaptées ». *Perspectives Agricoles, n°423*, 2015.

Joseph, Camille, Daniel Delattre, et Jean-Pierre Sarthou. 2018. « Auxiliaires des cultures – Dictionnaire d'agroécologie ». dico AE: dictionnaire d'agroécologie. 6 février 2018. https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/auxiliaires-des-cultures/.

Kanzler, Michael, Christian Böhm, Jaconette Mirck, Dieter Schmitt, et Maik Veste. 2019. « Microclimate Effects on Evaporation and Winter Wheat (Triticum Aestivum L.) Yield within a Temperate Agroforestry System ». *Agroforestry Systems* 93 (5): 1821-41. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4.

Karki, U, et M.S Goodman. 2013. « Microclimatic differences between young longleaf-pine silvopasture and open-pasture ». *Agroforestry Systems* 87 (2): 303-10. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9551-3.

Kay, Sonja, Anil Graves, João H. N. Palma, Gerardo Moreno, José V. Roces-Díaz, Stéphanie Aviron, Dimitrios Chouvardas, et al. 2019. « Agroforestry Is Paying off – Economic Evaluation of Ecosystem Services in European Landscapes with and without Agroforestry Systems ». *Ecosystem Services* 36 (avril): 100896. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100896.

Kromp, B. 1999. « Carabid Beetles in Sustainable Agriculture: A Review on Pest Control Efficacy, Cultivation Impacts and Enhancement. » *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 74 (1/3): 187-228. https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00037-7.

La France agricole. 2018. « Paca : Une baguette de pain tradition 100 % Sud ». Journal en ligne. La France agricole. novembre 2018. https://www.lafranceagricole.fr/le-tour-des-regions/paca-une-baguette-de-pain-tradition-100-sud-1,5,1568848876.html.

Lahmar, Rabah. 2006. « Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en Méditerranée. Les enseignements du projet KASSA ». Conference_item. Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct : actes = Third Mediterranean meeting on no tillage: proceedings. CIHEAM-IAMZ. Région méditerranéenne. 2006. http://agritrop.cirad.fr/549488/.

Lal, Rattan. 2010. « Beyond Copenhagen: Mitigating Climate Change and Achieving Food Security through Soil Carbon Sequestration ». *Food Security* 2 (2): 169-77. https://doi.org/10.1007/s12571-010-0060-9.

Lausecker, Lucie, Jean-David Chapelin-Viscardi, Rose-Line Preud'Homme, Corinne Lescaudron, Céline Robert, Véronique Sarthou, et Véronique Tosser. 2015a. « Araignée : fiche auxiliaire ». Auximore : Cultivons les auxilaires.

———. 2015b. « Guide de sensibilisation : Initiation à la reconnaissance des principaux groupes d'invertébrés ». Auximore : Cultivons les auxilaires.

———. 2015c. « Staphylin : fiche auxiliaire ». Auximore : Cultivons les auxilaires.

Lemay, A.M, R Marcou, A Olivier, et A Niang. 2003. « L'incidence de techniques agroforestières sur la dynamique familiale dans deux villages du Cercle de Ségou, au Mali : méthodologie de la recherche. » Université de LAVAl (qc) et ICRAF.

Liagre, Fabien. 2006. *Les haies rurales: rôles, création, entretien*. France Agricole Editions.

Marguerie, Mathieu. 2019a. « Avec ou sans irrigation : quelles stratégies pour implanter les couverts (...) - Les agriculteurs Bio de PACA ». Réseau bio de PACA. 2019. http://www.bio-provence.org/Avec-ou-sans-irrigation-quelles-strategies-pour-implanter-les-couverts-estivaux.

———. 2019b. « Projet PEI Blé dur Bio Note technique ». Agribio 04.

———. 2020. « Produire du blé bio en conditions méditerranéennes ». Formation, Alpes-de-Haute Provence.

Marull, Joan, Enric Tello, Paul Thomas Wilcox, Francesc Coll, Manel Pons, Paul Warde, Natàlia Valldeperas, et Anna Ollés. 2014. « Recovering the Landscape History behind a Mediterranean Edge Environment (The Congost Valley, Catalonia, 1854–2005): The Importance of Agroforestry Systems in Biological Conservation ». *Applied Geography* 54: 1-17.

MASSON, Marine. 2018. « LES AUXILIAIRES DES CULTURES : Les connaître et les favoriser ». Chambre d'agriculture du Puy de Dôme. puydedome.chambre-agriculture.fr.

Mead, R., et R. W. Willey. 1980. « The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping ». *Experimental Agriculture* 16 (3): 217-28. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978.

MEDCIE. 2008. « ETUDE DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE GRAND SUD EST : rapport partie I ». PACA: MEDCIE Grand Sud-est : Mission d'Etude et de Développement des Coopérations Interrégionales et Européennes. https://docs.google.com/document/u/2/d/1Pf8zmqfFeX9Pn158Am1GZNnj4D9LWikJO29lPENWg5o/edit?usp=drive_web&ouid=113781708956859198434&usp=embed_facebook.

Menalled, Fabián D., Richard G. Smith, Joseph T. Dauer, et Tyler B. Fox. 2007. « Impact of Agricultural Management on Carabid Communities and Weed Seed Predation ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 (1): 49-54. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.04.011.

Merlot, Benoît, David Caillet-Bois, et Corinne Zurbrügg. 2012. « Auxiliaires en grandes cultures ». Agridea. https://cote-dor.lpo.fr//IMG/pdf/2012_Agridea_Favoriser%20les%20auxiliaires.pdf.

Météo France. 2010. « Mistral et Tramontane : deux vents puissants et froids ». Météo France. octobre 2010. http://www.meteofrance.fr/actualites/208495-mistral-et-tramontane-deux-vents-puissants-et-froids.

———. 2017. « Les vents régionaux méditerranéens - Tempêtes en France métropolitaine ». Météo France. 2017. http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article220.

Meynard, Jean-Marc, Antoine Messéan, Aude Charlier, François Charrier, M'hand Fares, Marianne Le Bail, Marie-Benoît Magrini, et Isabelle Savini. 2013. « Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières ». *OCL* 20 (4): D403. https://doi.org/10.1051/ocl/2013007.

Michelet, Barbara. 2019. « L'AGRICULTURE, L'AGROALIMENTAIRE ET LA FORÊT DANS LA RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR ». 115. Provence-Alpes-Côte d'Azur: Agreste. http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Portrait_PACA__Mars2020_cle8b8b22.pdf.

Michon, Geneviève. 2020. *Quand le paysan domestique la forêt, avec Geneviève Michon*. Vers de Terre production. https://www.youtube.com/watch?v=hK78XoLpB7k.

Morinay, Antoine. 2012. « Analyse sociotechnique des facteurs d'adoption et de rejets de l'agroforesterie moderne en Pays d'Armagnac ». Mémoire de fin d'étude. Région Armagnac: Arbres et Paysage 32.

Niemelä, Jari. 2013. « Carabid Beetles (Coleoptera: Carabidae) and Habitat Fragmentation: A Review ». *EJE* 98 (2): 127-32. https://doi.org/10.14411/eje.2001.023.

Palma, João H. N., Anil R. Graves, Paul J. Burgess, K. J. Keesman, Herman van Keulen, Martina Mayus, Y. Reisner, et F. Herzog. 2007. « Methodological Approach for the Assessment of Environmental Effects of Agroforestry at the Landscape Scale. », Ecological engineering, , avril, 13. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.016.

Pellerin, Sylvain, Laure Bamière, Denis Angers, Fabrice Béline, et Marc Benoit. 2013. « QUELLE CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE FRANÇAISE À LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ? POTENTIEL D'ATTÉNUATION ET COÛT DE DIX ACTIONS TECHNIQUES ». Synthèse. France: INRAE.

Pointereau, Philippe, et Frédéric Coulomb. 2006. « LA HAIE EN FRANCE ET EN EUROPE : ÉVOLUTION OU RÉGRESSION, au travers des politiques agricoles ». PREMIÈRES RENCONTRES NATIONALES DE LA HAIE CHAMPÊTRE. Auch: SOLAGRO.

PRDA, Biodiversité. 2019. « Les Staphylins : Un prédateur discret, mais très actif; Flash Biodiversité n°5 ». Chambre d'Agriculture du Centre-Val de Loire.

Prisset, Carole, et Valérie Langlois. 2015. « La filière céréalière de Provence-Alpes-Côte d'Azur se mobilise ». *Agence VFC Relations Publics*, juillet 2015, Passion Céréales en région édition.

Puydarrieux, Philippe, et Jérémy Devaux. 2013. « Quelle évaluation économique pour les services écosystémiques rendus par les prairies en France métropolitaine ? » Rapport d'étude. Biodiversité et services écosystémiques. France: Commissariat Géneral au Développement Durable. http://www1.montpellier.inra.fr/themaclic/publication/2350/2013-quelle-valuation-conomique-pour-les-services.

Rabourbin, N, C Dor, et J Maillet Mezeray. 2011. « Impact des pratiques et des aménagements sur l'abondance et la diversité des carabidés. » Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats. Paris: Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire.

Radke, J. K., et R. T. Hagstrom. 1976. « Strip Intercropping for Wind Protection ». In *Multiple Cropping*, 201-22. John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.2134/asaspecpub27.c10.

Roger, Jean-Luc, Olivier Jambon, et Guillaume Bouger. 2016. « CLE DE DETERMINATION DES CARABIDES : paysages agricoles du Nord Ouest de la

France ». Clé de détermination Version 6. Armorique: INRA-CNRS. https://www6.rennes.inra.fr/ carabidae_nord_ouest_v6.pdf.

Russo, Lisa. 2012. « Les Alpes de Haute-Provence face aux impacts du changement climatique : Quelles vulnérabilités? Comment s'adapter? » Synthèse. Alpes-de-Hautes Provence: Conseil Général.

Stoate, C, N.D Boatman, R.J Borralho, C Rio Carvalho, G.R De Snoo, et P Eden. 2001. « Ecological impacts of arable intensification in Europe ». *Journal of Environmental Management*, 12 mai 2001, sect. 337-365.

Sunderland, K.D, et G.P Vickerman. 1980. « Aphid feeding by some polyphageous predators in relation to aphid density in cereal field ». *Journal of Applied Ecology*, nº 17: 389-96. https://doi.org/10.2307/2402334.

Timotéo, Joachim, Stefano Guaschi, Olivier Legras, et RNM Equipe. 2019. « Bilan agricole 2018 ». 107. Agreste: la statistique agricole en PACA.

TNC. 2019. « Combiner pâturage et production de fruits : un système aux multiples atouts - Alimentation et fourrages, Fruits et légumes, horticulture ». Agri mutuel. décembre 2019. https://www.agri-mutuel.com/elevage/combiner-paturage-et-production-de-fruits-un-systeme-aux-multiples-atouts/.

Torralba, Mario, Nora Fagerholm, Paul J. Burgess, Gerardo Moreno, et Tobias Plieninger. 2016. « Do European Agroforestry Systems Enhance Biodiversity and Ecosystem Services? A Meta-Analysis ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 230 (août): 150-61. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002.

Van Vooren, Laura, Bert Reubens, Evy Ampoorter, Steven Broekx, Paul Pardon, Chris Van Waes, et Kris Verheyen. 2018. « Monitoring the Impact of Hedgerows and Grass Strips on the Performance of Multiple Ecosystem Service Indicators ». *Environmental Management* 62 (2): 241-59. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1043-4.

Van Vooren, Laura, Bert Reubens, Steven Broekx, Pieter De Frenne, Victoria Nelissen, Paul Pardon, et Kris Verheyen. 2017. « Ecosystem Service Delivery of Agri-Environment Measures: A Synthesis for Hedgerows and Grass Strips on Arable Land ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 244 (juin): 32-51. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.015.

Verbrugghe, Morgane. 1989. « Contribution a l'analyse des microclimats au niveau de l'arbre, de couverts forestiers et de parcelles agricoles entourees de brise-vent ». Sciences du Vivant, Université de la Méditerranée (Aix-Marseille 2).

Vericel, Grégory, Romain Tscheiller, Pauline Mangin, et Gwenaelle Plevy. 2018. « Des teneurs en phosphore du sol difficiles à maintenir en bio ». Arvalis-info. 21 juin 2018. https://www.arvalis-infos.fr/bilan-de-12-ans-de-suivi-de-la-fertilite-du-sol-@/view-27784-arvarticle.html.

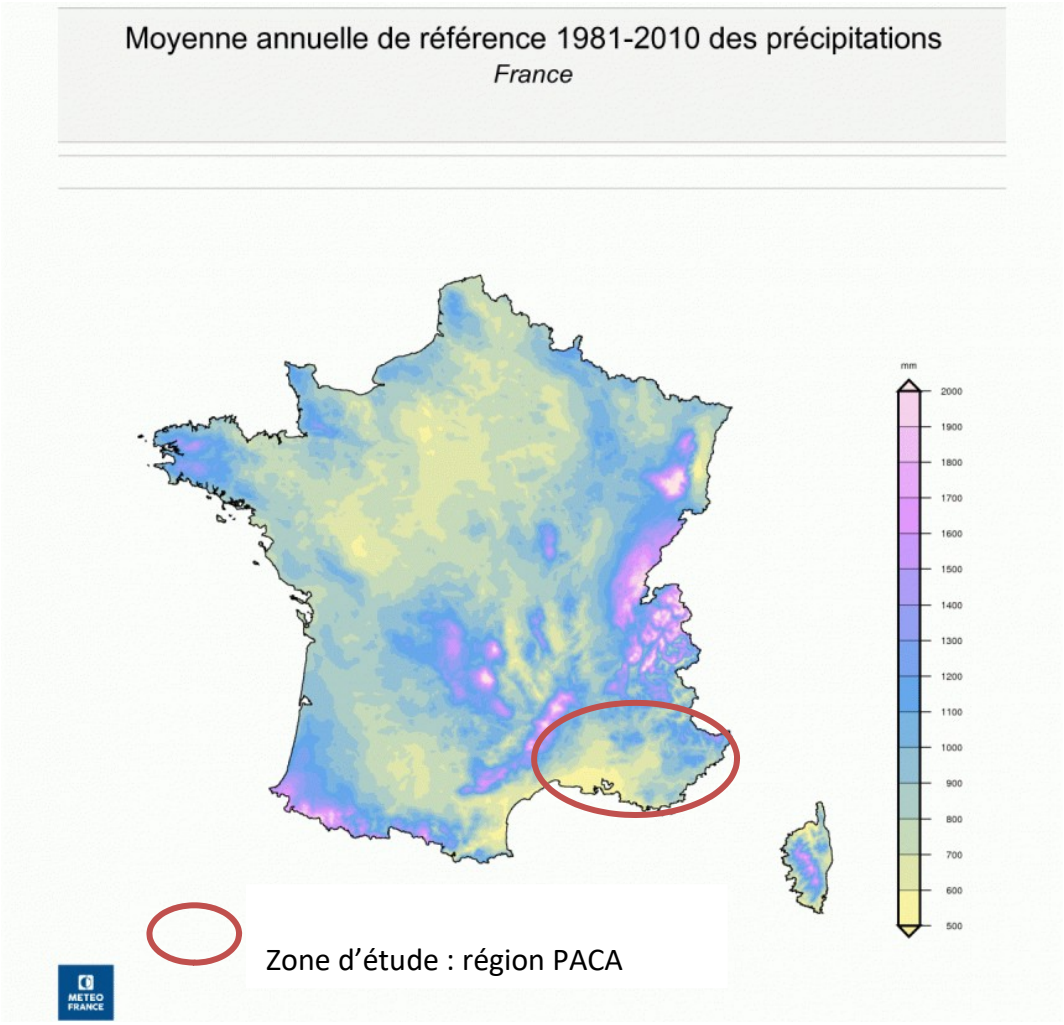
Woodruff, N.P., Lyles, L., Siddoyay, F.H., Fryrear, D.W., 1997. « How tocontrol wind erosion», Agr. Inf. Bull., n°354, U.S.D.A, 22p. dans Parent, Milette et Bourdeau (1980)

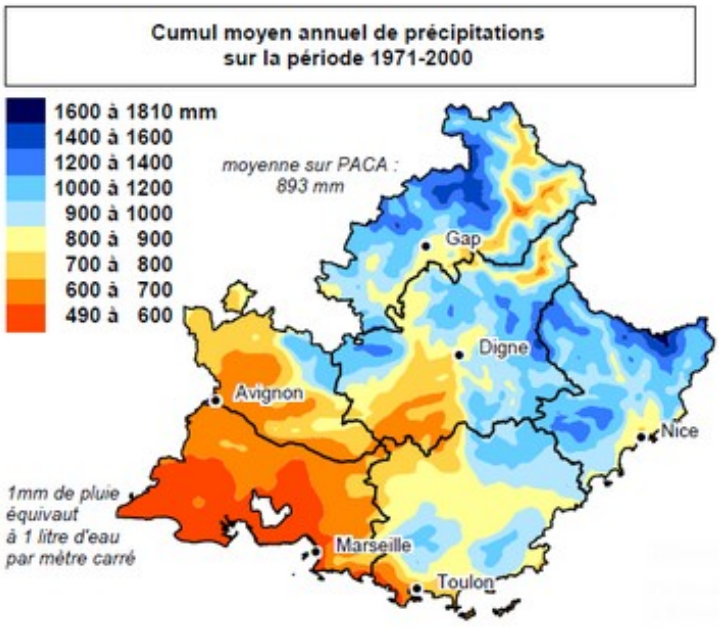
Annexes

Annexe 1: Moyenne annuelle (sur 30 ans) de pluies en France et en PACA.....45
Annexe 2 : Représentation des différentes familles d'auxiliaires de culture connus, de leur niche écologique et de leur régime alimentaire principal ainsi que la méthode d'observation privilégiée.....46
Annexe 3 : Questionnaire objectifs des agriculteurs.....49

Annexe 1: Moyenne annuelle (sur 30 ans) de pluies en France et en PACA

Source : Météo France





Annexe 2 : Représentation des différentes familles d'auxiliaires de culture connus, de leur niche écologique et de leur régime alimentaire principal ainsi que la méthode d'observation privilégiée

En grande culture, plusieurs grandes familles d'auxiliaires ont été identifiées. Chaque grande famille peut être spécifique à un ravageur ou au contraire réguler plusieurs types de ravageurs.

Famille d'auxiliaire	Niche écologique	Observation/piégeage	Ravageurs
Acariens prédateurs	Les femelles se mettent à l'abri sous les écorces. Elles sortent de leur hivernation pour chercher leur nourriture et pondre		- acariens jaunes et rouge - pucerons - larve de thrips
Coccinelles	Les haies et bosquets font office de zone d'hivernage. Au printemps, les prairies et les plantes de bords de champs offrent de la nourriture aux adultes qui sortent d'hivernage.	-Les cuvettes jaunes -les pièges à fils englués -observation des coccinelles (larves, adultes et mêmes les œufs sous les feuilles) dans les parcelles.	-pucerons Secondaire : -acariens -cochenille
Carabes	Apprécient les zones couvertes comme les prairies, les bords de champs mais aussi les haies. Pour que ces insectes puissent accéder à toute la surface cultivée, les parcelles de plus de 100 mètres de large doivent être divisées par des bandes relais (jachère, ourlet, haie). Les apports de matière organique sont bénéfiques à leur développement ainsi que le semis sous couvert vivant et la présence d'adventices.	-Pot Barber	- Graines d'adventices - Limaces - Insectes
Staphylins		-1er : pot Barber -2ème : tente malaise (car insecte volant)	Prédateurs généralistes
Araignées	Elles sont abondantes dans les jachères, ourlets et autres SCE	-Pot Barber est la méthode la plus adaptée	Prédateurs généralistes : au sol ou aérien (toiles)

	dont une partie de la surface au moins n'est pas fauchée. Les araignées sont très sensibles aux produits phytosanitaires et aux interventions mécaniques (destruction des toiles).	-Il est très facile d'observer les araignées « aériennes » grâce aux toiles d'araignées dans les parcelles.	
Forficules	Les forficules cherchent des milieux frais et fuient la lumière. On les trouvera dans les crevasses du sol, sous les écorces, dans les tiges creuses, au cœur de grosses fleurs, dans les fruits. C'est un insecte nocturne.	Observable grâce au dispositif de bande en carton installé autour de branche.	-Pucerons -psylles -œufs et larves d'insectes Secondaire : -champignons microscopiques -lichens -Végétaux tendre (types fruit mûr, débris) Ils peuvent être ravageurs de fruits (pêche, abricots, ...)
Syrphes	Les prairies extensives, les jachères et les ourlets sur terre assolées leur offrent des sites d'hivernage. Les adultes y trouvent tôt au printemps du nectar grâce aux plantes à floraison précoce et des pucerons pour leurs larves.	-La tente Malaise -pièges cornets (comparaison de sites ou de parcelles).	Les larves de syrphes attaquent : -pucerons -généralistes
Chrysopes	Les adultes se nourrissent de pollen, nectar ou miellat. Les prairies, jachères et haies sont nécessaires à la fourniture de ces ressources. Une présence continue de fleurs et de pucerons à proximité des cultures permet d'y maintenir les populations de chrysopes.	-Piège lumineux -Passage d'un filet dans les parcelles (chrysopes au repos)	Les larves sont prédatrices : -pucerons -acariens phytophages -cochenilles -aleurodes -jeunes chenilles (arpenteuses, noctuelles, piérides, teignes par ex), d'œufs de psylles, de cicadelles, de

	Lorsque les jours diminuent ces petits auxiliaires se dirigent vers les sous-bois, les feuilles sèches, les écorces… pour s'abriter et passer l'hiver.		doryphores)
Guêpes et mouches parasitoïde	Importance des bandes florales pour le maintien des adultes à proximité des cultures. Elles augmentent leur fécondité et leur efficacité. Cultures diversifiées et riche en milieux naturels permet le maintien de populations de parasitoïdes	-tente malaise -cuvette jaune	Leurs larves s'attaquent aux stades larvaires ou aux œufs (Trichogramme) des ravageurs.
Oiseaux et petits mammifères	Haies, bosquets, verger d'arbres hautes tiges, et bordures de forêts étagées sont d'importants biotopes. Ceux qui couvent au sol ont besoin de trous dans la végétation.		Mangeurs d'insectes, de limaces, de souris, etc.
Entomopathogènes : champignons, bactéries et virus tuant les insectes	Des refuges qui ne sont ni traités avec des fongicides et qui ne sont pas soumis à un travail du sol (bordure de champs, praires extensives, jachères florales, biotopes humides).		Lutte contre les maladies fongiques

Source : (Merlot, Caillet-Bois, et Zurbrügg 2012) ; (Giraud 2012) ; (MASSON 2018) ; (Conseil 2005)

Annexe 3 : Questionnaire objectifs des agriculteurs
Mise en place d'une parcelle agroforestière

Questionnaire en 4 parties : agronomique, économique, social et environnemental. Les questions posées sont orientées vers les objectifs poursuivis dans chacun des thèmes.

Objectifs Agronomiques

1) La réflexion de votre projet d'AF est-elle partie d'un ou plusieurs objectifs agronomiques ? Si oui, lesquels : fluctuation des rendements, qualité du sol, des récoltes...
2) Au vu des premières observations, pouvez-vous déjà faire un retour sur l'association céréales/arbres : qualité des récoltes, rendements, qualité du sol, etc ? Jugez-vous cette interaction naissante positive au niveau agronomique ?
3) La présence des arbres a-t-elle une incidence négative sur la gestion des cultures ? (Difficulté de manœuvre, nécessité de modifier les rotations, suspicion de bio-agresseurs liés aux arbres, …)
4) Avez-vous estimé une actuelle/future baisse de rendement sur votre parcelle, lié au contexte non AF ou AF ? Comment cela se manifeste (baisse près des arbres, globale, ...) ?

Objectifs économiques

5) De quelles aides avait vous bénéficiez ou bénéficiiez-vous (Toutes confondus y compris PAC) ? Est-ce un aspect important dans votre projet ? (Décisif pour la plantation ou non par exemple, ou part des aides perçues par rapport au montant total du projet ?)
6) Avez-vous du investir (hors plant et plantation) notamment dans des machines ou de la « main-d'œuvre » pour entretenir/gérer la/les parcelles en AF ?
Est-ce que la trésorerie de l'exploitation a été affectée sur le long terme ?
7) Pour vous quels sont les plus gros risques économiques et financiers lors de l'implantation d'une parcelle AF ? (Non valorisation du bois, manque de trésorerie sur le long terme, …)
8) Avez-vous estimé à court-moyen-long terme une rentabilité supplémentaire liée à la valorisation de l'arbre : fruits, bois, BRF, plaquette
9) Pensez-vous que l'agroforesterie peut être un facteur de valorisation aux yeux des consommateurs ?

Objectifs environnementaux

10) Avez-vous déjà pu faire certaines observations à ce niveau sur vos parcelles positives ou négatives ? (Biodiversité, microclimat, …)
11) Quelles sont vos attentes d'un point de vue environnemental ? (Baisse de certains intrants (engrais, phytos, gazoil...), impact sur le climat, augmentation de la biodiversité locale, stockage de carbone et fertilité des parcelles à long terme …)

Objectifs sociaux

12) Comment s'est fait le cheminement personnel vers l'agroforesterie ?
13) Le montage du projet a il représenté une charge lourde (temps de réflexion, d'échanges, investissement personnel… ?)
14) L'acceptation sociale du projet a elle été un frein/une opportunité vers la plantation ? A posteriori de la plantation, avez-vous eu des retours positifs ou négatifs sur le projet ?

Retour général

16) Quels conseils donneriez-vous à des agriculteurs/trices qui ont un projet ?
17) Qu'est-ce qu'il vous manque aujourd'hui comme éléments techniques ou scientifiques sur l'AF ?
18) Pourriez-vous classer par ordre d'intérêt/d'importance les objectifs évoqués dans le questionnaire ? (Les objectifs qui vous ont poussé à vous lancer)

1- Economique
2- Agronomique
3- Environnemental
4- Sociologique