ISTOM

Ecole Supérieure d'Agro-Développement International

4, rue Joseph Lakanal, 49 000 ANGERS

Tél. : 02 53 61 84 60 istom@istom.fr

Mémoire de fin d'études

Étude et suivi des auxiliaires de cultures au sein de jeunes parcelles en agroforesterie céréalière dans un contexte méditerranéen

ASSOUS, Roxane

Promotion 107

Stage effectué à Cavaillon, France
du 08/03/21 au 03/09/21
au sein du : Groupement Régional des CIVAM de Provence-Alpes-Côtes d'Azur

Maître de stage : Carlet, Florian
Tuteur pédagogique : Lamanda, Nathalie

Résumé

L'agroforesterie est l'association d'arbre et des cultures et/ou élevage sur une même parcelle. Cette pratique agricole est pleine d'espoir pour l'avenir puisqu'elle répond à de nombreux enjeux par le stockage de carbone, une diversification des sources de revenu pour l'agriculteur, la protection des sols contre l'érosion et la préservation de la biodiversité.

L'étude fait partie d'un projet d'acquisition de références et d'accompagnement de l'agroforesterie à l'échelle régionale nommé SAM (Système Agroforestier Méditerranéen). Elle a pour objectifs de comprendre l'impact des lignes d'arbres sur 3 familles d'auxiliaires de cultures : carabes, araignées et staphylins, ainsi que d'étudier leur déplacement dans les parcelles agroforestières. Cette acquisition de connaissances sur la biodiversité en parcelles agroforestières permettra de donner lieu à de la matière pour des échanges entre agriculteurs.

Des suivis ont été réalisés sur 5 parcelles en région PACA, au nombre d'un par mois entre avril et août. La présence de linéaires d'arbres avec des bandes enherbées semble influencer la biodiversité étudiée qui regroupe les staphylins, araignées et carabes. L'activité-densité des carabes et des araignées est toujours plus importante dans les linéaires d'arbres que dans les parcelles témoins étudiées. Pour la majorité des parcelles, elle est également plus importante dans la ligne d'arbres que dans le milieu de l'allée cultivée. La diversité en espèce de carabes est également plus riche dans les milieux arborés tels que les lignes d'arbres et l'élément paysager arboré en bordure de parcelle.

Mots clés : agroforesterie, agriculture, araignées, biodiversité fonctionnelle, carabes, céréales, grandes cultures, ligne d'arbres, méditerranéen, staphylins

Abstract

Agroforestry is the association of trees and crops and/or livestock on the same plot. This agricultural practice is full of hope for the future as it responds to many challenges by storing carbon, diversifying the farmer's sources of income, protecting the soil against erosion and preserving biodiversity.

The study is part of a project to acquire references and support agroforestry on a regional scale called SAM (Système Agroforestier Méditerranéen). Its objectives are to understand the impact of tree lines on three families of crop protection agents: carabid beetles, spiders and staphylins, as well as to study their movement in agroforestry plots. This acquisition of knowledge on biodiversity in agroforestry plots will provide material for exchanges between farmers.

Monitoring was carried out on 5 plots in the PACA region, one per month between April and August. The presence of tree lines with grass strips seems to influence the biodiversity studied, which includes staphylines, spiders and carabid beetles. The activity-density of carabid beetles and spiders was always higher in the tree lines than in the control plots studied. For most plots, was also higher in the tree line than in the middle of the cultivated lane. Carabid species diversity was also higher in the treed environments such as the tree lines and the tree-lined landscape element at the edge of the plot.

Keywords: agroforestry, agriculture, carabids, cereals, field crops, functional biodiversity, tree line, Mediterranean, staphylins, spiders,

Resumen

Agroforestería es la asociación de árboles y cultivos y/o ganado en la misma parcela. Esta práctica agrícola está llena de esperanza para el futuro, ya que responde a muchos desafíos al almacenar carbono, diversificar las fuentes de ingresos del agricultor, proteger el suelo contra la erosión y preservar la biodiversidad.

El estudio forma parte de un proyecto de adquisición de referencias y apoyo a la agroforestería a escala regional denominado SAM (Système Agroforestier Méditerranéen). Sus objetivos son comprender el impacto de las líneas de árboles en tres familias de agentes de protección de cultivos: escarabajos, arañas y estafilinas, así como estudiar su movimiento en parcelas agroforestales. Esta adquisición de conocimientos sobre la biodiversidad en las parcelas agroforestales proporcionará material para los intercambios entre los agricultores.

El seguimiento se realizó en 5 parcelas de la región PACA, una por mes entre abril y agosto. La presencia de líneas de árboles con franjas de hierba parece influir en la biodiversidad estudiada, que incluye estafilococos, arañas y escarabajos carábidos. La densidad de actividad de escarabajos y arañas carábidas fue siempre mayor en las líneas de árboles que en las parcelas de control estudiadas. En la mayoría de las parcelas, también era mayor en la línea de árboles que en el centro del carril cultivado. La diversidad de especies de carábidos también fue mayor en los entornos arbolados, como las líneas de árboles y el elemento de paisaje arbolado en el borde de la parcela.

Palabras clave: agroforestería, agricultura, arañas, biodiversidad funcional, cereales, cultivos de campo, escarabajos, estafilinas, línea de árboles , Mediterráneo

Table des matières

Introduction 1
I. Origine de la commande 2
A. Description de la structure d'accueil 2
B. Description du programme SAM et contexte général de l'étude sur les auxiliaires dans son animation 2
C. Étude 2020 3
D. Objectifs de l'étude 4
II. État de l'art 6
A. Agroforesterie : définition, bénéfices généraux et limites 6
B. Agroforesterie et conservation de la biodiversité 8
C. Biodiversité fonctionnelle définition 9
D. Agroforesterie et conservation des bioagresseurs 9
E. Auxiliaires étudiés pour les suivis 9
1. Les carabes 11
2. Les araignées 12
3. Les staphylins 12
F. Effets des pratiques culturales sur les auxiliaires de cultures 12
G. Effet de l'environnement paysager sur la biodiversité 13
III. Question de recherche 14
IV. Matériels et méthodes 16
A. Échantillonnage des parcelles suivies pour l'étude 16
B. Principales caractéristiques des parcelles étudiées 18
C. Description du dispositif de piégeage : le Pot Barber 22
D. Plan d'échantillonnage intra parcellaire 23
E. Identification des espèces 26
F. Analyse de la biodiversité 27
G. Analyse statistique 28
V. Résultats 29
A. L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins 29
1. Carabes 30
2. Araignées 34
3. Staphylins 38
B. La diversité des espèces de carabes 43

1. Indice de biodiversité 44
2. Espèces de carabes les plus représentées 52
VI. Discussion 57
A. Discussion des résultats 57
1. Discussion de la saisonnalité 57
2. Discussion des modalités 58
3. Discussion des différentes pratiques agricoles et de l'environnement paysager 60
4. Focus sur les principaux carabes de l'étude 63
5. Comparaison des résultats avec l'étude 2020 67
B. Discussion de l'étude 69
1. Limite de l'étude 69
Conclusion 71
Bibliographie 73

Liste des figures

Figure 1: schéma des principaux avantages des systèmes agroforestiers 7
Figure 2: Place de l'arbre et principaux bénéfices au sein d'un paysage.....8
Figure 3- Schéma de la classification des familles d'auxiliaires étudiés.....10
Figure 4: Photo d'un carabe, espèces Calathus fuscipes 10
Figure 5: Photo d'une araignée Lycoside.....10
Figure 6: Photo d'un staphylin 10
Figure 7: Photo des cinq pacelles.....17
Figure 8 : Localisation et principales caractéristiques des cinq parcelles suivies 21
Figure 9: Photo d'un piège Barber dans la parcelle "Forcalquier – Sainfoin" 22
Figure 10: Schema du pot Barber 22
Figure 11: Schéma d'une parcelle type et de l'emplacement des pots selon les modalités.....24

Liste des tableaux

Tableau 1: Récapitulatifs des cinq parcelles étudiées et leurs principales caractéristiques.....20
Tableau 2: Nombre de pots barber par modalité mis en place sur chaque parcelle.....25

Liste des graphiques

Graphique 1: Nombre moyen d'auxiliaires présents par pot sur l'ensemble des parcelles au long de la saison.....29
Graphique 2: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....30
Graphique 3: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Valensole - BO" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....31
Graphique 4: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....31
Graphique 5: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....32
Graphique 6: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Beaurecueil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....33
Graphique 7: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....34
Graphique 8: Nombre moyen d'araignées par pot par modalité dans la parcelle "Valensole - BO" au cours de la saisonnalité 35
Graphique 9: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....36
Graphique 10: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....37
Graphique 11: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Beaureceuil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....38
Graphique 12: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....39

Graphique 13: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Valensole - BO" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....39
Graphique 14: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....40
Graphique 15: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....40
Graphique 16: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Beaurecueil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité.....41
Graphique 17: Répartition des espèces de carabes sur l'ensemble des cinq parcelles.....43
Graphique 18: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Vinon - SD 44
Graphique 19 : Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Vinon -SD en juin 45
Graphique 20: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Valensole - BO...46
Graphique 21: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Valensole - BO en juin 46
Graphique 22: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Forcalquier - Sf ..47
Graphique 23 : Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Forcalquier - Sf en août.....48
Graphique 24: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Ste Baume - P.....49
Graphique 25: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Ste Baume - Prairie en juin.....49
Graphique 26: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Beaurecueil - A ..50
Graphique 27: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Beaurecueil - A en mai.....51
Graphique 28: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Vinon - SD" au cours de la saison.....52
Graphique 29: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Valensole - BO" au cours de la saison 53
Graphique 30: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Forcalquier - Sf" au cours de la saison.....54
Graphique 31: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Ste Baume - P" au cours de la saison 55
Graphique 32: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Beaurecueil - Amandiers" au cours de la saison 56

Liste des sigles

AFAC : Association Française de l'Arbre Champêtre

AFAF : Association Française d'Agroforesterie

AP32 : Arbre Champêtre 32

EPLEFPA : établissement public locale d'enseignement et de formation professionnelle agricoles

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

MIN :Marché d'Intérêt National

PACA : Provence Alpes Côte-d'Azur

PRDA : programme régional de développement agricole

PPP : produit phytopharmaceutique

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

Remerciements

Mes premiers remerciements vont droit à Florian Carlet, mon maître de stage, sans qui cette étude n'aurait tout simplement pas vu le jour. Merci pour son fidèle accompagnement tout au long de la réalisation de cette étude, sa bienveillance qui m'a mise en confiance, ainsi que sa joie et bonne humeur au quotidien.

Je remercie Nathalie Lamanda, ma tutrice, pour sa disponibilité et toutes ses remarques constructives et encourageantes.

Merci aux 5 agriculteurs pour leur collaboration à cette étude : Guillaume Joubert, Hugues Massuco, Michel Nevière, Christian Rastello, et Pierre Sauvat. Leur réactivité pour mettre en place les journées de suivi sur les parcelles m'était très précieuse.

Merci à l'équipe du GR CIVAM PACA, pour leur chaleureuse accueil dans les bureaux du MIN de Cavaillon mais aussi aux collègues de l'ARDEAR 84 et Agribio 84.

Je remercie toute l'équipe des Sentiers de l'Abondance pour leur hébergement durant les six mois de stage, ce qui m'a permis un épanouissement professionnel et personnel. Un merci particulier à Raphaël pour son hospitalité à Forcalquier la veille des jours de suivis, m'évitant ainsi de longues heures de route dans la même journée.

Introduction

L'agriculture du XXI^{ème} siècle doit répondre à de nombreux enjeux : nourrir une population mondiale croissante alors qu'un milliard d'êtres humains souffrent déjà de sous-alimentation chronique et deux milliards de malnutrition (Charvet, 2013) ; faire face au réchauffement climatique de plus en plus menaçant et qui selon le dernier rapport du GIEC dépassera 2°C d'ici 2050 (IPCC, 2021) ; protéger la biodiversité qui est toujours plus menacée avec plus de 40% des espèces de mammifères, oiseaux et reptiles menacées en Europe (Durousseau, 2008); lutter contre l'appauvrissement des sols dont la teneur en matière organique a été divisée par 2 depuis 1950 (Bourguignon & Bourguignon, 2015) ; diminuer la production de gaz à effet de serre dont l'agriculture est responsable de 20% des émissions totales à l'échelle nationale pour 2% du PIB (Pellerin, Bamière & Pardon, 2015a).

Heureusement, de nombreuses solutions existent. Parmi elles, l'agroforesterie est une pratique prometteuse pour l'avenir. Par l'association d'arbres et de productions agricoles sur une même surface (Dupraz & Liagre, 2011), elle permet de tirer des bénéfices comme une meilleure rentabilité économique par une diversification du système ainsi qu'une meilleure fertilisation des sols. La présence d'arbre crée des habitats pour la faune et participe donc au maintien de la biodiversité. Enfin, l'agroforesterie contribue au stockage de carbone (Dupraz, 2006; Labant, 2009; The Organic Research Centre, 2010; Angers *et al.*, 2013; Pellerin *et al.*, 2019).

La lutte biologique peut également constituer un élément de réponses à ces enjeux. Elle se définit comme étant une manière de réguler les populations considérées comme nuisible pour les cultures par leurs ennemis naturels appelés auxiliaires de cultures (Suty, 2010). Cependant, ces auxiliaires souffrent également de l'extinction massive qui touche 40% des insectes mondiaux (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). En trente ans, les populations d'insectes auraient chuté de près de 80 % en Europe (Hood, 2019).

L'objectif de cette étude est de décrire l'activité de trois familles d'auxiliaires de cultures au sein de jeunes parcelles agroforestières dans la région Provence Alpes Côte-d'Azur afin d'enrichir les connaissances à ce sujet pour animer les échanges entre les agriculteurs. Cette étude se déroule dans le cadre du programme SAM « Systèmes Agroforestiers Méditerranéen » qui a pour objectif principal la capitalisation de références en agroforesterie au sein de systèmes céréaliers et maraîchers dans le but d'améliorer l'accompagnement des agriculteur.trice.s.

La première partie du rapport portera sur une synthèse bibliographique faisant un état des connaissances sur l'agroforesterie en général, les taxons étudiés ainsi que les impacts que peuvent avoir les pratiques culturales et le paysage sur leur mode de vie. Après avoir annoncé la problématique et les hypothèses de l'étude, la deuxième partie se concentrera sur une présentation des parcelles étudiées ainsi que le plan d'échantillonnage qui leur est appliqué. Elle fera également le point sur la méthodologie de piégeage et l'identifications des individus piégés. Les résultats seront présentés dans une troisième partie, qui sera suivie d'un volet discussion et perspectives, afin de remettre les résultats dans leur contexte scientifique global,

et apporter des éléments sur les méthodes qui auraient pu être mises en place pour en augmenter la précision.

I. Origine de la commande

A. Description de la structure d'accueil

Les CIVAM, Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu Rural, sont des groupes d'agriculteur.trice.s et de ruraux qui œuvrent pour une agriculture durable. Ils mènent des actions pour le développement de fermes autonomes et résilientes par l'accompagnement et l'expérimentation sur les fermes, la promotion d'une alimentation saine et locale et la participation à l'action publique. La dimension sociale est toujours très présente puisque ces structures veillent à la sensibilisation des citoyens via l'accueil du grand public sur les fermes, mais aussi à l'égalité des genres dans le milieu agricole. Les CIVAM constituent un réseau de près de 140 associations à l'échelle nationale qui agissent depuis 60 ans pour des campagnes vivantes.

Créé en 1979, le Groupement Régional des CIVAM de Provence-Alpes-Côte d'Azur (GR CIVAM PACA) est une de ces associations. Il fédère les 13 collectifs CIVAM de la région PACA composés des groupes CIVAM Bio, des groupements d'oléiculteurs, d'un CIVAM récemment créé dédié à l'agroforesterie, et d'un CIVAM apicole dans les Alpes Maritimes, totalisant près de 1500 adhérents. A ce jour, le GR CIVAM PACA compte cinq salariés : un coordinateur, une secrétaire comptable et trois animateur.trice.s.

Le GR CIVAM, basé à Cavaillon, agit à l'échelle régionale sur des thématiques diverses et variées, en lien avec l'agriculture durable, comme la fertilité des sols, l'agroforesterie et le maraîchage durable. Chaque année, il propose des formations, accompagne les agriculteur.trice.s et participe à l'organisation d'évènements pour sensibiliser le grand public avec notamment « De ferme en ferme ».

B. Description du programme SAM et contexte général de l'étude sur les auxiliaires dans son animation

Le programme SAM "Systèmes Agroforestiers Méditerranéen" débuté en 2018 et financé par les fonds européens FEADER se termine à la fin de l'année 2021. Il a pour objectif principal la capitalisation de références en agroforesterie au sein de systèmes céréaliers et maraîchers, afin d'améliorer l'accompagnement des agriculteurs porteurs de projets agroforestiers. Depuis 2018, une quinzaine d'ateliers de co-conception de parcelles ont été organisées, ainsi que plusieurs formations techniques pour les agriculteur.trice.s. En parallèle de ce travail d'animation technique, une douzaine d'agriculteurs ont été suivis pendant ces trois

années depuis la conception de leur projet, pour mettre en lumière les difficultés qu'ils ont rencontrées et renforcer les connaissances sur l'agroforesterie en contexte méditerranéen : essences choisies, distances entre les lignes et les arbres, itinéraires techniques en particulier les premières années post-plantation, accompagnement nécessaire, temps de travail, financements, etc. Ces informations récoltées amèneront à la création d'une méthodologie locale pour la conception d'un projet et pourront aussi permettre l'animation du réseau notamment par l'accompagnement de nouveaux porteurs de projet, de plus en plus nombreux.

A ce jour, peu de données existent sur l'association arbres-céréales en PACA du fait du nombre limité de ces parcelles présentes sur le territoire. Cela se traduit par un manque d'initiatives de plantation pour les agriculteurs, soucieux de ce que ces nouveaux systèmes vont impacter à l'échelle de leur ferme : investissements nécessaires, matériel, gestion de l'herbe, développement de nouveaux ravageurs et maladies, etc. La conservation de la biodiversité au sein de ces parcelles agricoles est un enjeu majeur et est apparu aux yeux des agriculteurs comme une donnée à mieux connaître.

En particulier, cette thématique avait été pressentie par les agriculteurs lors d'une réunion de cadrage du projet SAM en 2017 au cours de laquelle les partenaires du projet ont pu capitaliser les principales attentes des céréaliers. La biodiversité utile aux céréales était questionnée du fait de la présence des lignes d'arbres et de la bande enherbée inhérente à la pratique de l'agroforesterie. A terme, la conservation de cette biodiversité allait de pair avec une régulation – au moins partielle – de certains ravageurs de culture. Les carabes et araignées en particulier étaient perçus comme des auxiliaires généralistes, qui pouvaient en partie réguler les principaux ravageurs rencontrés : limaces, pucerons, etc.

Pour ces raisons, depuis 2020, des suivis de biodiversité – intégré aux actions du projet SAM en concertation avec les agriculteurs - ont débuté sur des parcelles en agroforesterie céréalières jeunes (moins de 5 ans), témoins de la dynamique de plantation ou de motivation à la plantation ces dernières années.

C. Étude 2020

En 2020, Thomas Fayet, stagiaire au GR CIVAM PACA a débuté ces suivis sur 5 parcelles dans la région. Son travail s'est organisé autour de 2 problématiques complémentaires autour de ces cinq parcelles plantées entre 2017 et 2020 :

- quels sont les impacts à court terme de la mise de l'agroforesterie et que peuvent en espérer sur le long terme les céréaliers qui ont planté ?
- en particulier, que modifie à l'échelle de la parcelle la mise en place des rangées d'arbres sur la conservation des auxiliaires locaux (focus sur carabes, araignées, forficules) ?En raison du confinement lié au COVID de mars à mai 2020, son stage n'a pu démarrer que deux mois après la date prévue, ce qui a limité à 2 sessions (juin et août) de suivis sur la biodiversité dans les parcelles.

Thomas Fayet a réalisé deux suivis au cours de la saison : en juin et en août. Deux modalités ont été testées : sur la ligne d'arbre au sein des parcelles agroforestière et sur une parcelle témoin sans agroforesterie, l'idée étant à l'époque d'évaluer l'intérêt de la ligne d'arbres (et en particulier de la bande enherbée) pour les auxiliaires utiles

Cette étude a mené à plusieurs résultats (Fayet, 2020) :

- l'hétérogénéité entre parcelles - taille, essences plantées, gestion de la ligne d'arbres, travail du sol ou non, etc - rendent difficiles les comparaisons entre elles
- pour les populations d'araignées, il y a une différence significative en terme d'abondance (supérieure) pour les parcelles les plus vieilles par rapport au témoin agricole, ce qui n'est pas le cas pour les parcelles où l'agroforesterie est plus récente.
- pour les populations de carabes, l'abondance est très variable selon les parcelles et jamais significative entre agroforesterie et témoin agricole
- Sur la plupart des parcelles, la grande majorité des espèces est inféodées aux milieux ouverts et peu d'espèces dans chaque parcelle sont communes aux deux modalités

Cette étude n'a pas permis de comprendre l'activité des auxiliaires selon leur emplacement au sein de la parcelle, ni de suivre l'évolution des activités des auxiliaires au cours de la saison, du fait du trop faible nombre de relevés. Il s'agissait de comparer l'activité des auxiliaires marcheurs entre les parcelles agroforestières et les parcelles témoins.

D. Objectifs de l'étude

L'objectif du stage 2021 est de caractériser l'activité des auxiliaires de culture au sein même de parcelles agroforestières afin de comprendre les dynamiques des populations au cours de la saison, d'évaluer leur présence selon leur emplacement au sein des parcelles et de comprendre l'impact du paysage et des pratiques agricoles sur leur activité. A l'approche agroforesterie/témoin agricole réalisée en 2020, le stage 2021 a préféré considérer les différences au sein des parcelles agroforestières lorsque cela était possible, en renforçant le dispositif de suivis à différentes distances des lignes d'arbres.

Pour pouvoir répondre à ces objectifs, plus de données sont nécessaires, à l'échelle de la saison et sur les parcelles. C'est pourquoi les suivis sont renforcés à un par mois (d'avril à août), et les dispositifs de piégeage (de types Barber) sont également plus nombreux au sein des parcelles. L'étude 2020 comprenait une modalité « ligne d'arbres » et une autre « témoin agricole ». Pour cette étude 2021, trois nouvelles modalités s'ajoutent à celle de l'étude 2020 : à 10 mètres de la ligne d'arbres, au milieu de l'inter-rang et en bordure de parcelle avec une forte présence d'arbres.

Dans la continuité des suivis 2020, les trois groupes d'invertébrés étudiés pour ces suivis sont les staphylins, les araignées et les carabes. Ils peuvent être des indicateurs d'une biodiversité fonctionnelle présente sur les parcelles (Waligora, 2005; Projet SEBIOREF, 2017). Ils ont déjà assez largement été étudiés, en particulier certains carabes, et sont facilement observables.

C’est pourquoi ces suivis portent sur l’étude de ces trois groupes, tous considérés comme étant des auxiliaires de culture.

La plupart des carabes ont une distance de déplacement entre 50 et 70 mètres de leur habitat (CIVAM Oasis, 2017). D’après Collard *et al.*, les infrastructures agroécologiques favoriseraient la présence des carabes jusqu’à 30-50m dans les parcelles (Collard, Dreyfus & Wartelle, 2012). Or, dans les 5 parcelles étudiées, le plus grand espacement entre deux lignes d’arbres est de 72 mètres. On s’attend donc à retrouver des carabes au milieu des parcelles, si ces populations vivent ou sont ponctuellement présentes dans les lignes.

L’objet de l’étude n’est pas de mesurer la régulation des ravageurs par les auxiliaires mais d’évaluer la conservation d’une biodiversité fonctionnelle spécifique sur les parcelles. Ce choix a été rapidement fait compte tenu des moyens requis à une étude sur la régulation, la difficulté de mesurer la présence des ravageurs, ainsi que les objectifs fixés par les céréaliers : la diversité des ravageurs rencontrés entre agriculteurs – reflets des cultures en place, des rotations, des itinéraires techniques de chacun ...- a plutôt conduit à une approche générale de la biodiversité fonctionnelle, par le suivi d’auxiliaires réputés généralistes.

Inscrits au sein d’un projet d’animation (SAM), ces suivis 2020 et 2021 doivent – au-delà des connaissances acquises sur la biodiversité en parcelles agroforestières – donner lieu à de la matière pour des échanges entre agriculteurs. Le but premier n’est pas la production de connaissances écologiques sur les systèmes agroforestiers mais la production de références locales pour les agriculteurs qui ont déjà planté ou qui souhaitent le faire, favoriser l’échange, le questionnement des systèmes actuels, et la capacité pour eux à vouloir essaimer cette pratique sur d’autres parcelles (les surfaces déjà plantées chez les 5 agriculteurs ne représentent souvent qu’une très petite partie de leur SAU) ou d’autres collègues. Les données acquises alimenteront les supports de capitalisation SAM destinés à d’autres porteurs de projets agroforestiers, et participeront au jeu de connaissances et à l’animation à l’échelle méditerranéenne, en lien avec d’autres acteurs travaillant dans cette démarche. Ici, « l’animation » correspond à la capacité à contribuer localement à une meilleure connaissance de ces systèmes par les agriculteurs, en favorisant l’échange entre pairs, le rapprochement entre la recherche et le terrain, et la production de livrables utiles et facilement pris en main par le monde agricole.

A la fin du stage, une présentation orale sera faite aux cinq agriculteurs concernés par ces suivis ainsi qu’un compte rendu écrit. Les résultats obtenus pourront les guider dans leurs choix d’itinéraires techniques. Si les résultats sont satisfaisants pour la biodiversité, ils pourront également réfléchir à l’implantation de nouvelles lignes d’arbres sur d’autres parcelles.

II. État de l'art

A. Agroforesterie : définition, bénéfices généraux et limites

L'agroforesterie est l'association d'arbres et de production agricoles sur une même surface (Dupraz & Liagre, 2011). Les bénéfices liés à cette pratique sont de mieux en mieux référencés (Figure 1), du fait de la démultiplication des projets et sites pilotes en agroforesterie. Parmi ces bénéfices, la recherche s'est nettement intéressée aux bénéfices environnementaux :

- Réduction de l'érosion et amélioration de la fertilité des sols

Les sols agricoles sont sujets à l'érosion et à l'appauvrissement en nutriments. L'érosion des sols s'expliquent par plusieurs phénomènes : les fortes pluies à l'origine des ruissellements (érosion hydrique), le vent (érosion éolienne) et le travail du sol (érosion aratoire) (Auzet, 1987; Le Bissonnais *et al.*, 2002; Alletto, 2019). Elle est favorisée sur les sols limoneux, avec une pente et sur des grandes parcelles dépourvues d'infrastructure agroécologiques (Auzet, Guerrini & Muxart, 1992). La perte annuelle mondiale de sol par l'érosion est estimée à 25 milliards de tonnes (Bissonnais *et al.*, 2005). L'agroforesterie pourrait être un élément de réponse à cette problématique. En effet, la présence permanente de racines dans le sol limite l'érosion par la fixation physique des éléments et les lignes d'arbres ralentissent la vitesse du vent ainsi que le ruissellement sur les pentes (AFAC, 2017). Les systèmes agroforestiers réduisent également les besoins en apport minéraux en minimisant la perte des nutriments dans le sol (The Organic Research Centre, 2010).

- Stockage de carbone

L'agriculture est responsable de 20% des émissions de gaz à effet de serre (Pellerin, Bamière & Pardon, 2015b). Plusieurs études mettent en alerte sur la diminution des stocks de carbone au sein des systèmes agricoles par la déforestation et la mise en culture des prairies mais aussi par l'intensification du travail du sol, la réduction des apports de matières organiques et l'érosion des sols agricoles (Gac *et al.*, 2010). Certaines pratiques agricoles permettent de rééquilibrer la balance par le stockage du carbone dans le sol. C'est le cas de l'agroforesterie mais également des prairies permanentes et du pâturage (Pellerin *et al.*, 2019). Les arbres que constituent les parcelles agroforestières sont capables de stocker du carbone dans leur partie ligneuses en piégeant le carbone présent dans l'atmosphère (Angers *et al.*, 2013; Pellerin *et al.*, 2019).

- Climat :

Le réchauffement climatique rend de plus en plus incertaine la production de céréales en France, surtout en région PACA (Barbier *et al.*, 2016). Dans cette région, les étés risquent de connaître des périodes de sécheresse de plus en plus récurrentes avec des températures plus élevées. Les cultures connaissent déjà les conséquences de ce bouleversement climatique :

stress hydrique et thermique, perturbations dans les périodes de croissance etc. L'agroforesterie intra-parcellaire créé un microclimat plus favorable à la culture par la diminution des excès de température et l'augmentation de l'humidité du sol (Inurreta Aguirre, 2015) (Baldy, Dupraz & Schilizzi, 1993)

- Économique (sur le moyen et long terme)

L'agroforesterie assure sur le long terme des revenus supplémentaires aux agriculteurs. Chacun peut trouver le type de valorisation adaptée (fruits, bois d'œuvre, bois de chauffage,plaquette) au système déjà mis en place. A titre d'exemple et selon Christian Dupraz, la production de bois de noyer avec 30 arbres par hectare est équivalente au revenu de la culture (Dupraz, 2006). Cependant les systèmes ne seront pas aussi rentable qu'en agriculture conventionnelle (Assolari, 2019). En effet, la perte de surface directement rémunératrice lié à l'implantation des lignes d'arbres n'aura pas de bénéfices monnayables à moins d'imaginer des dispositifs financiers (Mesures Agroécologiques, Paiements pour Services Environnementaux…) permettant aux agriculteurs d'être rémunérés pour le service écologique lié aux arbres ou aux bandes enherbées sur lesquels ils peuvent être plantés.

Les systèmes agroforestiers apportent d'autre bénéfices à la culture intercalaire ainsi qu'à l'échelle du paysage tels que l'effet brise vent qui permet de lutter contre l'érosion (Van Lerberghe, 2015), la réduction de l'intensité des pics de crue, l'effet parasol (Labant, 2009), la beauté des paysages (Bories & Rue, 2017) et la contribution au maintien de la qualité et de la quantité d'eau (Kohli *et al.*, s. d.)

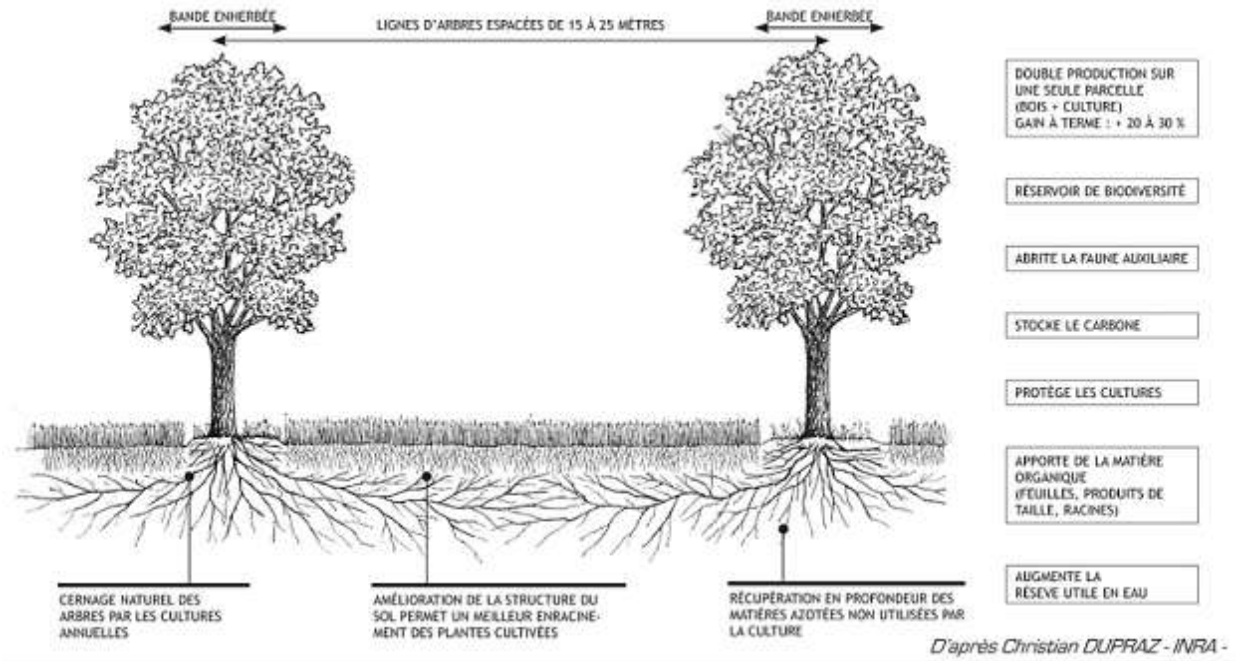


Figure 1: schéma des principaux avantages des systèmes agroforestiers (Source : Dupraz C. et al.)

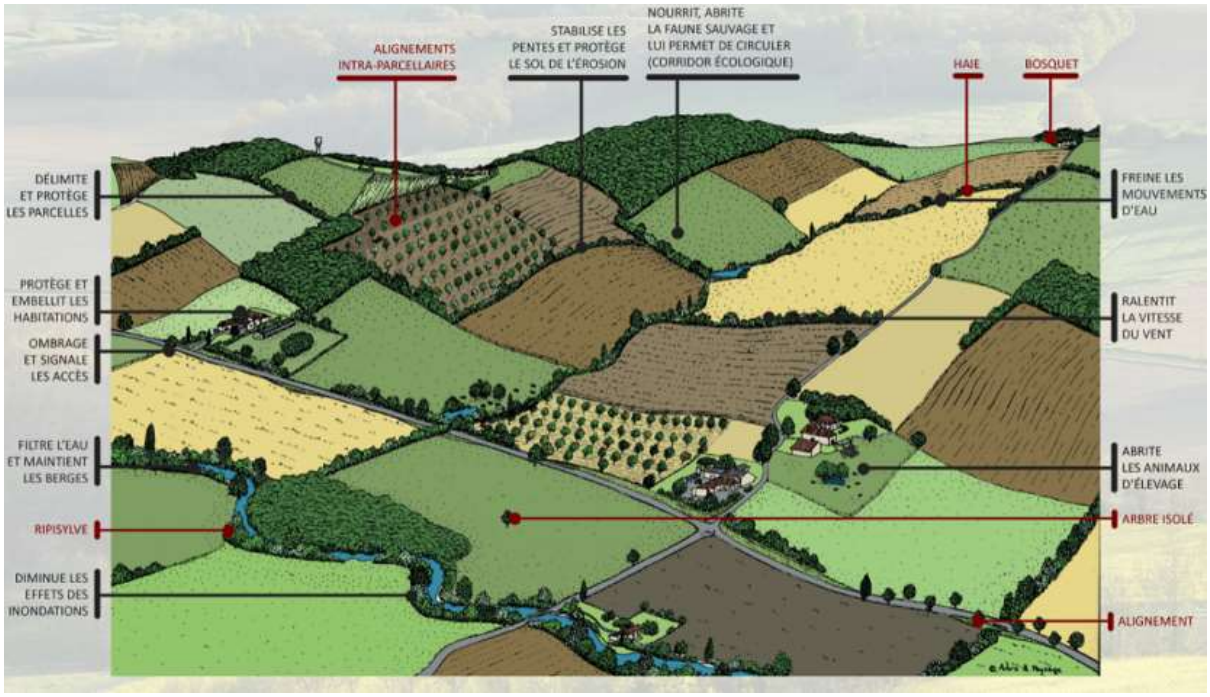


Figure 2: Place de l'arbre et principaux bénéfices au sein d'un paysage (Source :« Des arbres et des paysages | Arbre et Paysage 32 ».)

B. Agroforesterie et conservation de la biodiversité

L'agroforesterie joue un rôle important dans la conservation de la biodiversité. Les arbres que constituent les lignes intra-parcellaire, les haies champêtres ou les pré-vergers fournissent de nombreux habitats pour la faune comprenant les auxiliaires de cultures, les pollinisateurs... Ces arbres créent également des corridors écologiques : milieux garantissant la connectivité entre les différents habitats vitaux pour une espèce comme les forêts, les zones humides et les prairies (Labant, 2009). Bon nombre de ces externalités environnementales positives dérivées à l'échelle de l'exploitation agricole ou du paysage, bénéficient à la société à des échelles régionales voire mondiales (Jose, 2009).

Selon l'AFAF, « l'agroforesterie permet d'allier production et protection, en réintroduisant la biodiversité – sous toutes ses formes – au cœur des parcelles, dans l'intérêt de l'agriculteur et de la société toute entière » (Association Française d'Agroforesterie, 2015). Les services écosystémiques cités précédemment sont également bénéfiques pour la protection de la biodiversité (Jose, 2009).

Toutefois, les systèmes agroforestiers ne constituent pas les mêmes habitats que les forêts naturelles. Le développement de l'agroforesterie ne doit donc pas se faire au détriment de la préservation des forêts naturelles (Beer *et al.*, 2015)

C. Biodiversité fonctionnelle définition

La biodiversité correspond à la « diversité du vivant », elle peut s'étudier à différentes échelles: la diversité génétique, la diversité des espèces, mais aussi celle des écosystèmes et des paysages. La biodiversité fonctionnelle se définit par la biodiversité dite « utile », en rendant des services écosystémiques au sein d'une parcelle agricole : pollinisation, gestion des ravageurs de cultures, dégradation de la matière, les organismes « ingénieurs du sols » et les champignons mycorhiziens (Arbres et Paysage 32, 2011; Association Française d'Agroforesterie, 2015). Les êtres-vivants qui par leur modes de vie (régime alimentaire, développement) régulent une ou plusieurs populations de ravageurs sont les auxiliaires de cultures (Fourcade, 2015). Ces espèces sont majoritairement représentés par les insectes mais aussi les araignées, les petits mammifères, les oiseaux, les serpents (Giraud, 2012).

Pour cette étude, il est question d'étudier la biodiversité des auxiliaires de culture invertébrés - spécifiquement carabes, araignées, staphylins -, à l'échelle des espèces, au sein des parcelles s'inscrivant dans différents paysages.

D. Agroforesterie et conservation des bioagresseurs

La régulation des bioagresseurs sur les parcelles agroforestières est le résultat de processus complexes assurés par la biodiversité qui interagissent entre eux à différentes échelles en diminuant le nombre d'individus et/ou leur impact sur les cultures (Bagny Beilhe *et al.*, 2019).

Selon une étude menée a Restinclières en 2018 sur la distribution des invertébrés dans les systèmes agroforestiers (Boinot *et al.*, 2019), les carabes et les staphylins se retrouvent plus dans l'allée cultivée que sur les lignes d'arbres elles-mêmes. Toutefois, cela peut varier en fonction des espèces et de leur sensibilité aux perturbations agricoles : dans les allées cultivées se trouvent en majorité les carabes de petites tailles, et hivernant à l'état adulte et/ou larvaires. En revanche, les espèces sensibles dépendent très fortement des lignes d'arbres et de leur bande de végétation. L'agroforesterie permet donc, grâce à la présence de ces lignes d'arbres, d'augmenter la conservation de la diversité en invertébrés sans pour autant favoriser l'hivernation des ravageurs dominants (Boinot *et al.*, 2019).

E. Auxiliaires étudiés pour les suivis

Les carabes, araignées et staphylins, de par leur régime alimentaire, sont considérés comme de bon bio-régulateurs (Projet SEBIOREF, 2017). Ils sont les trois groupes étudiés pour ces suivis.

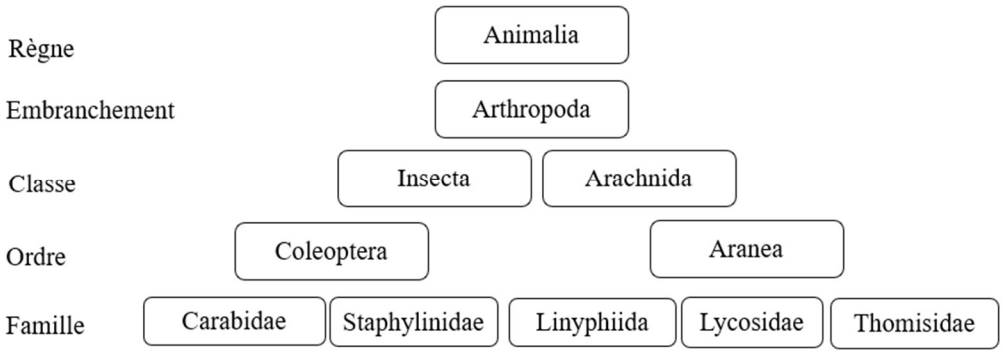


Figure 3- Schéma de la classification des familles d'auxiliaires étudiés

Figure 4: Photo d'un carabe, espèces Calathus fuscipes (Source: G. Bouger - O. Jambon)

Figure 5: Photo d'une araignée Lycoside (Source : dreamstime.com)

Figure 6: Photo d'un staphylin (Source : jardinerfacile.fr)

1. Les carabes

Les carabes appartiennent à la famille des Carabidés de l'ordre des coléoptères, environ 1100 espèces sont répertoriées en France dont 300 dans le milieu agricole (Auximore, 2014a; CIVAM Oasis, 2017). En plus d'être de très bons prédateurs, les carabes sont d'excellents bio-indicateurs de leur milieu (Waligora, 2005; Hamon, 2009). Des études ont démontré l'efficacité des carabes en tant qu'agent de lutte biologique contre des ravageurs sur des parcelles céréalières, en montrant que leur absence entraînait une augmentation des populations de pucerons (Lang, 2003; Schmidt *et al.*, 2003). Une étude menée par l'INRA en 2018 a montré que 29% des événement de prédations étaient attribués aux carabes (3% pour les staphylins et 10% pour les opillons) (Leclercq *et al.*, 2018).

Plusieurs caractéristiques permettent de reconnaître un carabe : des pièces buccales proéminentes, des antennes filiformes composées de 11 articles, un trochanter postérieur très développé (Figure 4). Leur taille varie de 18 à 42 mm (Roger, Jambon & Bouger, 2016) et la plupart sont inaptes au vol (Masson, 2018).

Le régime alimentaire varie d'une espèce à une autre : environ 80% des adultes sont carnivores mais il existe aussi des espèces granivores et phytophages qui peuvent parfois occasionner des dégâts pour les cultures (Hamon, 2009). Certaines espèces peuvent consommer 3 fois leur poids par jour (Auximore, 2014a; Masson, 2018). Les larves sont particulièrement voraces puisque 90% d'entre elles sont carnivores. Ces dernières vivant dans le sol, elles sont difficiles à quantifier dans un milieu, c'est pourquoi les études s'intéressent généralement aux adultes (Diwo-Allain & Bout, 2004).

Les carabes ont une période d'activité dans les parcelles céréalières de mai à octobre (Auximore, 2014a; Masson, 2018). Cependant, ils ne supportent pas les fortes chaleurs et la sécheresse. Dans ces conditions, ils se mettent en diapause et deviennent alors inactifs sur les parcelles (Waligora, 2005).

Il existe deux saisons de reproductions selon les espèces (CarabAgri, 2015a; Tosser, 2020):

- au printemps, pour la plupart des espèces : les adultes hivernent puis se reproduisent à l'arrivée du printemps. Les larves s'y développent jusqu'à l'été.
- à l'automne : les larves se développent alors dans le sol tout l'hiver jusqu'au printemps. Ces espèces émergent pendant l'été.

Une fois adulte, leur durée de vie varie entre 1 et 5 ans selon les espèces (Chambre d'agriculture Bourgogne, 2015).

2. Les araignées

Les araignées, appartenant à l'ordre des Aranea et la classe des Arachnides sont des prédateurs invertébrés. Selon (World Spider Catalog, 2021), il existe plus de 49 000 espèces dans le monde. Environ 1 600 sont présentes en France (Delfosse, 2005). Elles diffèrent des insectes par leur 4 paires de pattes et leur nombre de yeux (6 à 8) dépourvus de facettes (Figure 5). De par leur sensibilité aux perturbations d'un milieu (labour profond, fauche des prairies, produit phytosanitaire), les araignées renseignent sur l'impact des pratiques agricoles. Elles jouent un rôle très important dans la lutte biologique puisque 40 à 70% des insectes qu'elles capturent sont des ravageurs de cultures : pucerons, cicadelles, collemboles etc… (Projet SEBIOREF, 2017).

3. Les staphylins

Les staphylinides constituent une des familles de l'ordre des coléoptères la plus importante avec les charançons. Plus de 45000 espèces sont retrouvées à l'échelle du globe, dont 1200 en Europe (Groupe PRDA). De par leur différent régime alimentaire les staphylins ont un rôle important à jouer dans la lutte biologique.

Les staphylins sont caractérisés par un abdomen très allongé terminant en deux cerques. Les couleurs sont variables selon les espèces mais les individus sont généralement de couleurs foncées. Leur taille peut s'étendre de 1 à 40mm (Bohac, 1999; Auximore, 2014b; Groupe PRDA, s. d.) et leurs petites ailes leur permettent tout de même de voler. Leur reproduction a lieu au printemps dans les parcelles cultivées (Petersen, 1997) et les adultes apparaissent deux mois après, une fois les trois stade larvaire passés (Petersen, 1997; Bohac, 1999).

Ces prédateurs consomment pour la plupart (adultes et larves) de nématode, acariens, collemboles, pucerons, chenilles, limaces, escargots. Les espèces de grandes tailles consomment principalement leurs proies au niveau du sol (limaces, ravageurs souterrain, œufs…) et les plus petits attaquent principalement les acariens phytophages. D'autres espèces sont consommatrices de cadavres et d'excréments (Masson, 2018).

F. Effets des pratiques culturales sur les auxiliaires de cultures

Les auxiliaires de cultures sont sensibles aux perturbations de leur milieu, les pratiques agricoles ont donc un effet direct sur leur activité. Le travail du sol a un impact négatifs sur les auxiliaires, notamment sur les populations de carabes dont les larves hivernent dans le sol, ce qui perturbe leur habitat et cause de nombreuses pertes (Kromp, 1999; Hatten *et al.*, 2007; Rabourdin, Dor & Maillet Mezeray, 2011).

Les produits phytosanitaires peuvent également perturber le cycle de vie des auxiliaires de cultures. En premier lieu, les herbicides ont un effet indirect sur les populations de carabes en modifiant les conditions climatiques et la disponibilité des ressources alimentaires et d'habitats

(Navntoft, Esbjerg & Riedel, 2006; Ricci *et al.*, 2019). D'autre part, les insecticides ont également un impact négatif sur les carabes (Navntoft *et al.*, 2006) et les araignées (Kennedy *et al.*, 2001) . Selon une étude de 2013, les carabes et les coccinelles sont nettement plus abondants dans les parcelles biologiques que dans les parcelles conventionnelles, en lien avec l'absence de produits phytosanitaires de synthèse (Puech, Baudry & Aviron, 2013).

Les doses importantes en engrais de synthèses sont néfastes pour les populations de staphylins contrairement au fumier qui semble être plus bénéfique pour les auxiliaires de cultures (Bohac, 1999; Nasir *et al.*, 2015).

Cependant, des pratiques agricoles favorables existent afin de préserver les auxiliaires de culture, comme par exemple les couverts végétaux permanents, le semis direct, le non labour et l'implantation d'infrastructures agroécologiques Selon une étude menée en 2005 (Waligora, 2005), les carabes sont représentés plus abondamment et de manière plus diversifiée sur les parcelles avec un couvert végétal permanent contrairement aux parcelles en situation de sol nu. D'autre part, la majorité des auxiliaires sont peut mobiles, ce qui limite leur capacité à coloniser les cultures à environ 50m. De ce fait, la largeur des parcelles ne devrait pas dépasser 100m avec une superficie inférieure à 10ha afin qu'ils puissent accéder à toute la surface (Merlot, Caillet-Bois & Zurbrügg, 2012).

Selon une étude menée en 2005, l'intensité des pratiques agricoles et la densité des zones non cultivées dans un espace de 4km² auraient plus d'impact sur les populations de carabes que l'environnement local (Schweiger *et al.*, 2005 cité dans Allen, 2012). A contrario, une autre étude montre une plus grande importance de l'environnement local (Koivula, 2011)

G. Effet de l'environnement paysager sur la biodiversité

Selon la Convention Européenne du Paysage de 2000, un paysage se définit comme étant « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations ». La structure du paysage a une réelle influence sur la biodiversité (Ryszkowski *et al.*, 1993; Jonsen & Fahrig, 1997; Thies, Steffan-Dewenter & Tscharntke, 2003). La richesse et l'abondance des insectes généralistes, sont plus élevées dans des paysages hétérogènes en comparaison aux paysages simples (Hassan, 2012). L'hétérogénéité des paysages se définit comme la quantité, la diversité et l'organisation spatiale des éléments paysagers (Burel & Baudry, 1999; Saussure, 2010)

Selon plusieurs étude, l'impact de l'hétérogénéité du paysage sur la biodiversité est parfois plus important que le type de système agricole (conventionnel, biologique…) (Bengtsson, Ahnström & Weibull, 2005; Tscharntke *et al.*, 2005). Selon une autre étude (Diwo-Allain & Bout, 2004), l'état de la bordure de parcelle a plus d'impacts sur les populations de carabes que les pratiques culturales attribuées aux parcelles. En effet, les parcelles conduites en agriculture biologique dans une région d'openfield montrent une faible diversité de carabes alors que les systèmes conventionnels avec une forte présence de bocage connaissent une plus grande

diversité de carabes. La présence de haies, de bosquets, de mares, de bandes enherbées favorisent donc une plus grande diversité des Carabidés par une diversification des habitats.

Quant aux araignées, une autre étude montre qu'une présence importante d'habitats semi-naturels permet d'augmenter leur richesse spécifique dans les parcelles de blé (Schmidt & Tscharntke, 2005). Les araignées ont réagi à la composition du paysage jusqu'à plusieurs kilomètres de distance et les effets ont varié d'une année à l'autre, ce qui démontre la nécessité de prendre en compte de grandes échelles spatiales et temporelles pour comprendre la dynamique de leur population.

En effet, lorsqu'une étude est réalisée sur l'impact du paysage, différentes échelles peuvent être considérées. Les abords de parcelles constituent les éléments du paysage local mais le paysage peut également être étudié dans un plus grand rayon autour de la parcelle (Barrier, 2016). Plusieurs études ont été menées sur l'impact du paysage à des échelles allant de 50m à 1500m de rayon autour de la parcelle (Thies & Tscharntke, 1999; Thies, Roschewitz & Tscharntke, 2005). Certains auxiliaires sont uniquement sensibles aux abords directs de la parcelle étudiée alors que d'autres sont aussi sensibles à la complexité du paysage à plus grande échelle (Elliott *et al.*, 1999; Barrier, 2016)

La diversité des sensibilités des auxiliaires rencontrés a notamment déterminé le choix d'un suivi allant jusqu'à la reconnaissance de l'espèce chez les carabes et des familles chez les araignées. En effet, l'enjeu, au-delà de l'activité-densité, est aussi d'indiquer aux agriculteurs quels auxiliaires sont présents, leur régime alimentaire, leur sensibilité au milieu, etc, en se référant aux références bibliographiques existantes. Ces informations ne sont pas aussi étayées pour toutes les espèces, et justifieront dans la discussion des résultats de se concentrer seulement sur certaines espèces..

Dans le cadre de cette étude, seulement le contexte paysager proche sera étudié, aux abords des parcelles. Du fait des objectifs poursuivis et des moyens disponibles (accès, temps, main d'œuvre), le paysage ne sera pas étudié dans un plus grand rayon. Les haies, bosquets, forêts et vergers aux abords des parcelles peuvent servir de comparaison à la ligne d'arbres intra-parcellaire.

III. Question de recherche

Selon la bibliographie, l'activité des carabes décroît pendant la période estivale (Waligora, 2005; Saussure, 2010). Ce constat conduit à plusieurs questionnements. : à quel moment cette biodiversité va se « cacher » et à quel endroit ? Retrouve-t-on ces espèces dans les lignes d'arbres ou dans l'environnement paysager proche en bordure de parcelle ? Des espèces inféodées à un milieu ouvert/semi-ouvert/forestier peuvent elles se retrouver au sein des parcelles agricoles au travers des infrastructures agroforestières et des corridors créés dans les parcelles ?

Ces questions ont conduit à la question de recherche suivante :

Quels sont les effets de la ligne d'arbres et de sa bande de végétation sur les auxiliaires de culture, en particulier des carabes, staphylins et araignées, au sein de jeunes parcelles agroforestières en culture de céréales dans un contexte méditerranéen au cours de la période estivale ?

Suite à l'étude bibliographique ci-dessus et au vu des objectifs de l'étude, trois hypothèses sont posées afin de répondre à la question de recherche.

Hypothèse 1 : L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est variable selon l'emplacement dans les parcelles. La diversité en espèces de carabes varie également selon ces paramètres.

Résultats attendus :

- elles sont moins fortes dans les parcelles témoins sans agroforesterie, leur différence est significative ;
- sur une parcelle, un gradient d'activité-densité en auxiliaires est constaté à différentes distances de la ligne d'arbres ;
- au sein d'un élément paysager proche en bordure de parcelle, l'activité-densité n'est pas la même ;
- des espèces sont spécifiques à un milieu (ouverts, fermés, arborés, cultivés…).

Hypothèse 2 : L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est variable selon la saisonnalité. Cette dernière influe également sur la diversité des espèces de carabes.

Résultat attendu : les populations sont moins observées à partir du mois de juillet/août, du fait des périodes de sécheresse

Hypothèse 3 : L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins varie en fonction des différents itinéraires techniques appliqués sur les parcelles et de l'environnement paysager des parcelles.

Résultat attendu : L'effet parcelle est plus important que l'effet position (la différence entre les 5 parcelles est plus forte que l'intra parcellaire, l'échantillonnage étant très hétérogène).

Cette dernière hypothèse sera traitée dans la discussion des résultats. Les conditions de suivi des auxiliaires ne permettant a priori pas de déterminer la part de responsabilité des itinéraires techniques et de l'environnement sur les populations étudiées.

IV. Matériels et méthodes

A. Échantillonnage des parcelles suivies pour l'étude

Les suivis ont lieu sur les cinq mêmes parcelles que l'année précédente, en région PACA. Cet échantillon de parcelles constitue une base pour les suivis sur le long terme. Il s'agit d'agriculteurs en lien avec le GR CIVAM PACA depuis plusieurs années, qui se sont formés à l'agroforesterie au sein des réseaux CIVAM locaux et/ou qui souhaitaient suivre leur plantation sur la durée. Ils ont ainsi participé dès le démarrage du programme SAM aux réunions de cadrage du projet et co-construit les questions de recherche qui se sont traduites notamment par les études 2020 et 2021. Ce sont les seules parcelles expérimentales en agroforesterie céréalière en lien avec le GR CIVAM PACA pour réaliser ces suivis. Elles ne sont pas trop éloignées géographiquement pour mutualiser les phases d'observation sur le terrain. Toutefois, elles sont très différentes les unes des autres : espacement entre les lignes, itinéraire technique mis en place, rotation, essences des arbres choisies, conduite de la parcelle, environnement paysager, types de sol… elles sont ainsi difficilement comparables entre elles. Néanmoins, elles permettent d'élargir les connaissances afin de s'adapter à la demande et aux besoins de futurs porteurs de projet en agroforesterie et d'animer les échanges avec les agriculteurs.

Les 5 projets ont été plantés en agroforesterie intra-parcellaire sous forme de lignes continues. Les arbres sont encore jeunes, ce qui tend à supposer un effet de la ligne d'arbres comprenant une bande de végétation (absence de perturbation du sol, couverture végétale parfois permanente, richesse floristique…) plutôt que des arbres eux-mêmes (Durant & Lemaire, 2016).. Du fait de leur jeune âge, ces parcelles pourront constituer une base de données sur le long terme sur l'évolution de la biodiversité en agroforesterie comme cela a été le cas dans des parcelles pilotes comme celle de Restinclières dans l'Hérault. En effet, le GR CIVAM PACA recherche une continuité dès 2022 pour poursuivre ces suivis dans le cadre de nouveaux projets de recherche/action avec le même groupe de céréaliers.

Durant toute la saison, un contact régulier avec les agriculteurs est nécessaire pour pouvoir échanger sur les différentes interventions prévues sur les parcelles afin d'éviter tout endommagement des dispositifs mais aussi de comprendre la variabilité potentiellement observée du fait de certaines interventions phytosanitaires ou de travail du sol en particulier.

Figure 7: Photo des cinq pacelles

Vinon – Semis direct

Valensole – Bois d'œuvre

Forcalquier – Sainfoin

Sainte Baume – prairie

Beaurecueil -Amandiers

B. Principales caractéristiques des parcelles étudiées

Cette partie détaille les cinq parcelles qui ont servi pour cette étude. Une photo de chaque apparaît en figure n°7 ; et en annexe n°2 figure une vue satellite de chacune d'entre elles.

1ère parcelle :

Cette parcelle se trouve à Vinon-sur-Verdon (83) à la frontière entre le Var et les Alpes de Hautes Provence (04) au sein d'un openfield : les arbres se font rares aux alentours de la parcelle. C'est la plus grande parcelle des cinq suivies : 11ha en agroforesterie intra-parcellaire avec du blé et 11ha en blé seul (parcelle témoin). C'est également la parcelle avec les lignes d'arbres les plus jeunes, plantés en 2020 et 2021 et avec l'espacement le plus important entre chaque ligne (72mètres). L'agriculteur conduit cette parcelle depuis maintenant 10 ans en semis direct sous couvert végétal et en agriculture raisonnée. Cette parcelle est irriguée. La bande de végétation a été nettoyée au glyphosate en février 2021. La moisson a eu lieu le 14 juillet 2021.

Pour la suite de ce document, cette parcelle sera nommée : **Vinon – SD** (Semis direct)

2ème parcelle :

La parcelle est située à Valensole dans les Alpes de Hautes Provence (04). Le blé tendre y est cultivé en agriculture biologique depuis 4 ans sur une surface de 5,3ha. Les arbres cultivés sur la parcelle sont destinés au bois d'œuvre. C'est sur cette parcelle qu'on retrouve les arbres les plus développés, plantés en 2017. Le nord de la parcelle est en bordure de ripisylve de la rivière de l'Asse. Cette parcelle est irriguée. Le débroussaillage des lignes d'arbres a eu lieu le 5 juin et la moisson le 13 juillet 2021.

Pour la suite de ce document, cette parcelle sera nommée : **Valensole – Bo** (Bois d'œuvre)

3ème parcelle :

Au sud de la ville de Forcalquier (04), se trouve la parcelle de sainfoin sur 1,5ha. Les lignes d'arbres ont été implantées en 2019 avec un espacement de 9 mètres entre chaque ligne. La parcelle est conduite en agriculture biologique depuis 2000. La parcelle n'est pas irriguée et la récolte du sainfoin s'est faite le 15 juin 2021.

Pour la suite de ce document, cette parcelle sera nommée : **Forcalquier – Sf** (Sainfoin)

4ème parcelle:

Cette parcelle d'1,3ha se trouve au sein du parc naturel régional de la Sainte Baume (83), à 600 mètres d'altitude. La bordure sud est limitrophe de la forêt de la Sainte Baume. Les lignes d'arbres ont été implantées en 2017 avec un espacement de 16 mètres. Sur cette prairie permanente, aucun travail du sol n'est exercé, ni aucun produit phytosanitaire appliqué. La ligne d'arbres n'a jamais été désherbée et la fauche de la prairie a eu lieu le 9 juillet 2021.

Pour la suite de ce document, cette parcelle sera nommée : **Ste Baume – P** (prairie permanente)

5ème parcelle :

Cette parcelle, située à Beaurecueil (13), appartient à l'EPL (exploitation de lycée agricole) d'Aix Valabre. Elle a pour objectif l'apprentissage technique des étudiant(e)s mais aussi l'expérimentation de l'agroforesterie. La parcelle est constituée de 3 sous-parcelles : une parcelle en agroforesterie sur 1ha (amandiers et orge), un verger d'amandiers sur 0,7ha et une parcelle témoin en orge pure sur 2,4ha ; le tout en agriculture raisonnée. Tous les arbres ont été plantés en 2019. La ligne d'arbres n'a pas été désherbée et la récolte de l'orge s'est faite le 19 juillet 2021.

Pour la suite de ce document, cette parcelle sera nommée : **Beaurecueil – A** (Amandier)

Tableau 1: Récapitulatifs des cinq parcelles étudiées et leurs principales caractéristiques

Caractéristique / Parcelles	Age des LA	Espacement entre les LA	Nombre de LA	Surface	Conduite	Culture en place (précédent)	Rotation	Ravageurs principaux	Application de PPP	Travail du sol	Irrigation des cultures	Environnement paysager étudié
Vinon (Semis direct)	janvier 2020 et février 2021	72m	6 lignes de 300m	11ha + 11ha en céréales pures (témoin)	Semis direct, agriculture de conservation depuis 2009	blé dur (soja)	maïs - soja – blé dur - féverole - céréales - sorgho	Campagnol, limaces, pucerons, cicadelle	Glyphosate février 2021 sur les lignes, un insecticide l'hiver (karaté)	Aucun	Oui	Openfield
Valensole – Bois d'oeuvre	2017	36m	3 lignes de	5.3ha	AB depuis 2017	blé tendre (maïs semences)	Maïs semences – blé tendre – blé dur	Taupin, pyrale, césamie du mais	Non	Octobre 2021 déchaumeur à disques	Oui	Bordure de ripisylve
Forcalquier - Sainfoin	2019	9m	5 lignes de 160 m	1.5ha	AB depuis 2000	Sainfoin (2ème année) (sainfoin)	sainfoin (3ans) - Blé	Sangliers	Non	Pas de travail de sol depuis le sainfoin	Non	Quelques arbres autour de la parcelle
Ste Baume – Prairie	2017	16m	7 lignes de 135 m	1.3 ha	SD, agriculture raisonnée (parcelle « bio »)	prairie permanente	//////	//	Non	Non	Non	Forêt de la Ste Baume sur la bordure sud de la parcelle
Beaurecueil - Amandiers	2019	25m	4 lignes de	3.7ha 4ha de céréales pures (témoin)	Agriculture raisonnée	orge Précédent orge	orge de printemps - blé dur - blé dur	Sangliers	désherbage chimique	travail simplifié du sol	Non	Verger d'amandier

LA = ligne d'arbres

PPP: produit phytopharmaceutique

Figure 8 - Localisation et principales caractéristiques des cinq parcelles suivies pour l'étude 2021

LA = Ligne d'arbre

C. Description du dispositif de piégeage : le Pot Barber

Figure 9: Photo d'un piège Barber dans la parcelle "Forcalquier – Sainfoin" (source : Roxane Assous)

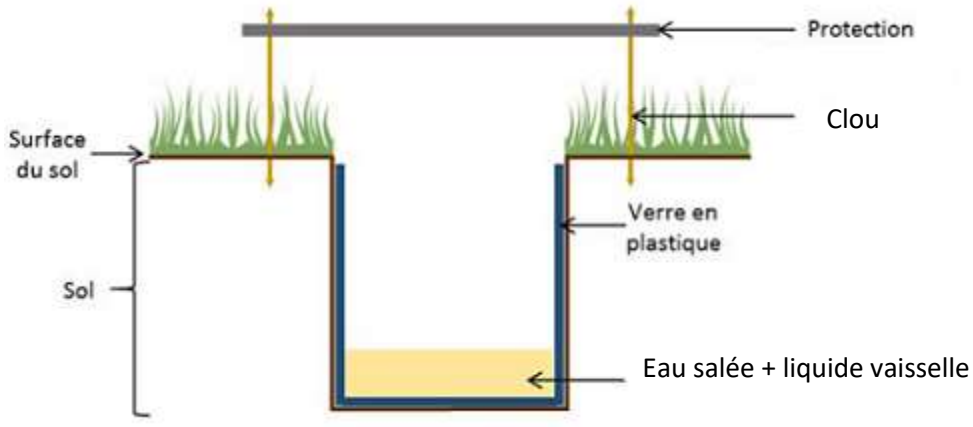


Figure 10: Schema du pot Barber (source : Ephytia)

Le dispositif de piégeage choisi pour cette étude est le pot barber ou piège barber (Barber, 1931). C'est un pot placé dans la parcelle qui va piéger les arthropodes marcheurs, dont les carabes, staphylins et araignées, permettant leur quantification et leur identification. Ce mode de piégeage est cohérent avec les objectifs de l'étude puisqu'il s'agit d'un piège non attractif. En effet, la zone de piégeage est similaire à la parcelle : aucun biais n'est donc créé pour l'étude des déplacements.

Dans le cadre du projet CASDAR SMART (AD&Méd, 2021), le CIVAM travaillait avec l'OAB, l'Observatoire Agricole de la Biodiversité, sur la méthode des planches à invertébrés.

Mais cette technique ne permet pas une identification précise des espèces et des biais sont créés du fait de l'humidité présente sous la planche ainsi que du déplacement rapide des auxiliaires au moment du soulèvement des planches en bois, qui ne permettait pas une identification précise. C'est pourquoi, le pot Barber est retenu pour cette étude.

Protocole du pot Barber selon la méthode Auximore : (Preud'homme, Rovillos & Chaubet, 2011)

- Creuser un trou à l'emplacement souhaité dans la parcelle
- Y placer un pot vide (12.5cm de hauteur, 10cm de large) de manière à faire affleurer le haut du pot au niveau du sol
- Remplir le pot au tiers d'eau saturé en sel avec quelques gouttes de savon inodore. Le sel permet la conservation des individus piégés et empêche le développement de bactéries et de champignons et le liquide vaisselle rend la surface glissante, empêchant les individus de remonter et de s'échapper (Diwo-Allain & Bout, 2004)
- Protéger le pot de la pluie avec un toit en contreplaqué à l'aide de clous de 10cm
- Laisser poser une semaine
- Conserver les individus piégés dans de l'alcool à 70°

L'identification s'effectue au bureau à l'aide d'une loupe binoculaire et permet une identification précise à l'aide de clés de détermination.

Les dates des suivis – les deux dates associées à un relevé correspondant à la pose des pots et à leur retrait - réalisés durant la saison 2021 sont :

- 1er suivi : du 14 au 21 avril
- 2ème suivi : du 18 au 25 mai
- 3ème suivi : du 17 au 24 juin
- 4ème suivi : du 20 au 27 juillet
- 5ème suivi : du 9 au 16 août

D. Plan d'échantillonnage intra parcellaire

Afin de comprendre les déplacements des auxiliaires, des pots Barber sont placés à différents endroits stratégiques dans les parcelles appelés modalités. Elles sont aux nombres de cinq et une modalité est constituée de 3 pots Barber pour plus de fiabilité dans les résultats. Chaque pot est espacé de 10 mètres pour éviter des interactions entre eux (Charlotte Dor & Maillet-Mezeray, 2011; Chastaing & Rouffaud, 2019).

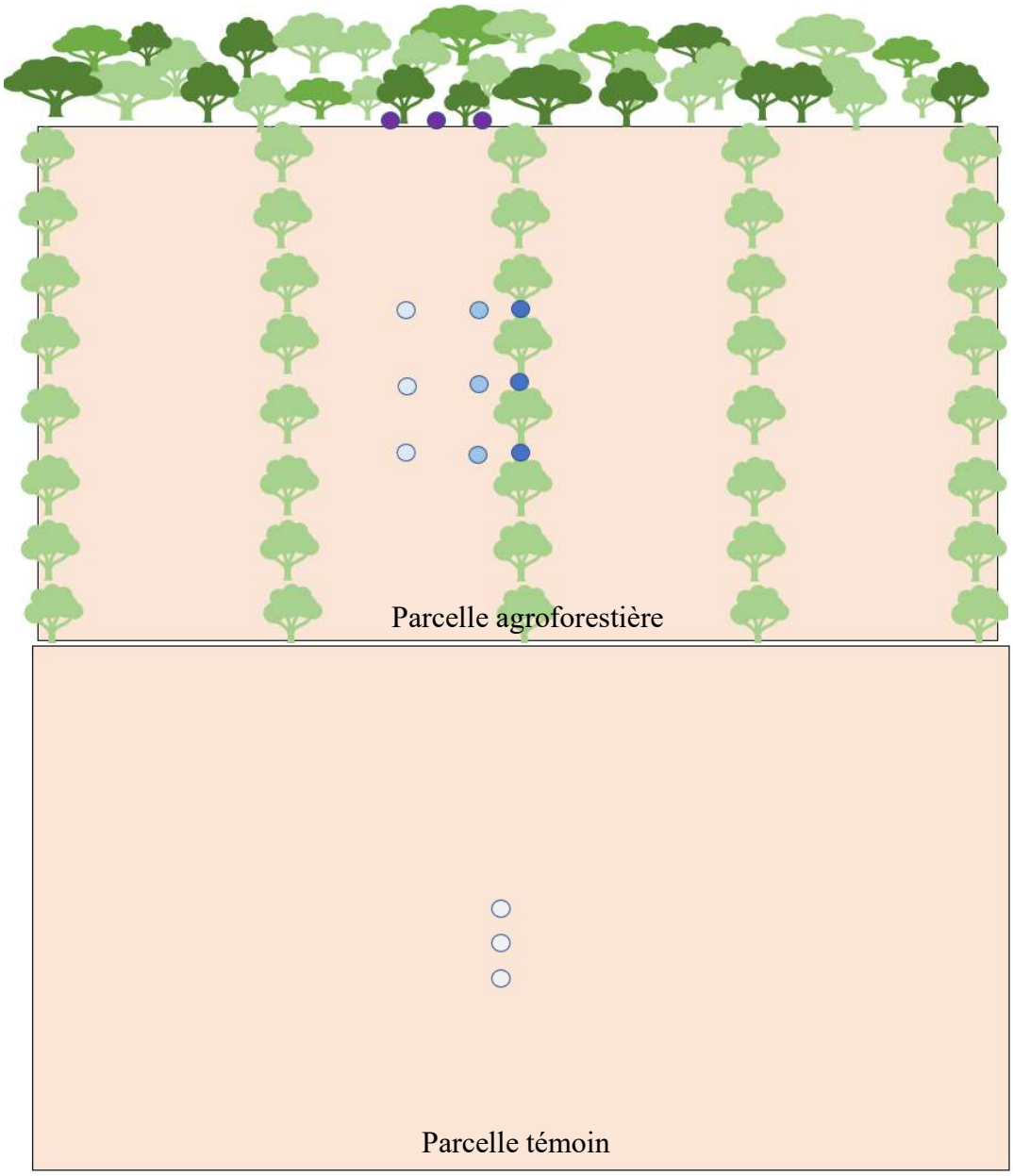


Figure 11: Schéma d'une parcelle type et de l'emplacement des pots selon les modalités

Légende :

- Elément paysager proche
- Sur la ligne d'arbre
- A10 mètres de la ligne d'arbre
- Milieu de l'inter-rang
- Témoin agricole

Tableau 2: Nombre de pots barber par modalité mis en place sur chaque parcelle

Modalités / Parcelles	Elément paysager proche	Ligne d'arbres	10m de la ligne	Milieu inter-rang	Témoin agricole	Total
Valensole - Bo	3	3	3	3	0	12
Ste Baume - P	3	3	0	3	0	9
Beaurecueil - A	3	3	0	3	3	12
Forcalquier - Sf	3	6	0	0	0	9
Vinon - Sd	0	3	3	3	3	12
Total	12	18	6	12	6	**54**

Les parcelles étant très différentes les unes des autres (espacement entres les lignes d'arbres, environnement paysager), chaque modalité ne peut pas s'appliquer sur chacune des parcelles. Pour chaque session mensuelle de suivis, 54 pots Barber sont posés au total sur l'ensemble des parcelles (Tableau 3).

La modalité « Ligne d'arbres » permet de prendre connaissance des populations présentes dans ce milieu ainsi que leur activité-densité. Les arbres et la bande de végétation que constituent cette ligne sont des habitats pour les populations étudiées. Les trois pots sont placés au milieu d'une même ligne afin d'avoir un environnement similaire. La ligne d'arbres suivie est au centre de la parcelle, afin d'être le plus éloigné possible de tout autre habitat susceptibles de créer des biais à l'étude (Figure 10).

Les modalités « Milieu de l'inter-rang » et « A 10m de la ligne » permettent d'obtenir un gradient de distance à la ligne d'arbres afin de suivre les déplacements des populations présentes au sein de l'inter-rang. L'objectif est d'évaluer la présence et les potentiels déplacements des auxiliaires entre les lignes d'arbres et le centre de la parcelle. L'activité-densité et la diversité d'espèces au sein de ses deux modalités pourront être comparées entres elles, ainsi qu'avec les autres modalités. Cela sera l'opportunité d'établir une comparaison entre l'activité-densité des espèces présentes au sein de l'inter-rang à celle présentes sur la ligne d'arbres. Pour les parcelles avec un espacement entre deux lignes inférieures à 30 mètres, seule la modalité « Milieu de l'inter-rang » sera testée. Au final seules les parcelles « Vinon – Sd et Valensole -Bo » présente la modalité « A 10 mètres ».

Le témoin agricole (sans agroforesterie), en monoculture de céréales, permet de mettre en lumière les différentes activité-densité et diversité d'espèces présentes dans une parcelle dépourvue d'arbres. Les dispositifs sont posés à plus de 50 mètres d'une haie ou autre type d'habitat afin d'éviter les biais, au centre de la parcelle. Cette distance a été choisie selon la bibliographie, les carabes ayant une distance moyenne de 50 mètres de leur habitat, il en résulte que les individus retrouvés dans cette modalité vivent donc dans la parcelle témoin. Un témoin

doit avoir la même culture mise en place, avec le même itinéraire technique mais aussi le même climat et le même type de sol. Toutes les parcelles étudiées ne disposent donc pas d'un témoin : seules les parcelles « Beaurecueil – Amandiers » et « Vinon - Sd » en disposent d'un.

La modalité «Élément paysager proche » est constitué d'élément représentatif du paysage qui entourent la parcelle. Elle permet d'étudier les populations observées dans un environnement fermé. Les pots sont placés aux abords directs de la parcelle excepté le cas de la parcelle « Beaurecueil – Amandiers » ou la diversité des éléments paysagers rend complexe le suivi sur un élément paysager proche. De plus, le dispositif expérimental a été volontairement séparé entre 3 parcelles : l'une en céréales pures, l'autre en amandier pur, la dernière en agroforesterie céréales/amandiers. Un suivi dans le verger pur constitue donc l'élément paysager proche choisi par praticité. Le choix d'intégrer cette modalité est dû à une observation faite en 2020 par Thomas Fayet, qui a observé sur plusieurs parcelles suivies des espèces de carabes inféodées à des milieux plutôt fermés, comme celui de la forêt de la Sainte Baume directement attenante à la parcelle « Sainte Baume - P ». Pouvoir ouvrir le champ de suivi de la parcelle au milieu environnant proche est donc apparu comme utile aux céréaliers.

Cependant, les pièges sont moins efficaces dans les milieux à forte densité de végétation (Honěk & Jarošík, 2013) ce qui demande de la vigilance lors de l'interprétation des résultats.

E. Identification des espèces

L'identification se fait sur le lieu du stage, au MIN de Cavaillon à l'aide d'une loupe binoculaire. Une fois les dispositifs relevés, les insectes sont conservés dans de l'alcool à 70° avant d'être identifiés.

Comme le suggère le protocole Auximore, les staphylins sont classés par taille et les araignées selon trois groupes différents : thomises, lycoses et linyphides.

Pour les carabes, une identification jusqu'à l'espèce est envisageable et pertinente. En effet, contrairement aux deux autres groupes, il existe plus de données et de références : définir leur espèce est donc source d'informations sur leur rôle fonctionnel au sein des parcelles. Les différentes espèces de carabes n'ont pas le même régime alimentaire, la même activité sur les parcelles, les mêmes exigences écologiques. C'est pourquoi déterminer leur espèces précises permet d'en connaître davantage sur la biodiversité parcellaire. Il est possible de distinguer des espèces pionnières (faibles exigences, conditions d'acclimatation facile) en milieu défavorable et des espèces sensibles lorsque le milieu est plus diversifié et moins perturbé (Hamon, 2009).

Deux clés de détermination des carabes ont permis cette identification. La première est adaptée pour le Nord-Ouest de la France (Roger *et al.*, 2016), la deuxième est une clé en ligne (« CarabAgri », 2015b).

F. Analyse de la biodiversité

Afin d'analyser la présences des auxiliaires de cultures étudiés au sein des parcelles, plusieurs indices de biodiversité existent (Cognie & Péron, 2020) :

- L'abondance, qui correspond au nombre d'individus capturés. Cependant, quand le dispositif de piégeage est le pot Barber, parler d'abondance est un abus de langage. Il est alors préférable de parler d' « activité-densité » puisque le nombre d'individus piégés est forcément lié au niveau d'activité de la population. Plus une population est active et se déplace, plus elle a de chance de tomber dans un pot (De Montaigne & Robert, 2014).
- La richesse taxonomique se définit comme le nombre d'espèces représenté dans un milieu.
- L'indice de Shannon :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi.log_2(pi)$$

Avec :
pi = l'abondance proportionnelle d'une espèce présente (avec pi = ni/N)
ni = le nombre d'individus dénombrés pour une espèce présente
N = le nombre total d'individus dénombrés, toute espèce confondue
S = le nombre total d'espèces présentes

L'indice de Shannon est un indice classique de diversité permettant d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. Il s'agit d'apprécier le nombre d'espèces présentes dans un peuplement. Plus la population est homogène, plus l'indice est bas : H'=0 quand il y a une seule et même espèce. A l'inverse, l'indice augmente quand il y a un grand nombre d'espèces différentes. la valeur H'max = $\log_2(S)$ correspond à un peuplement hétérogène pour lequel tous les individus de toutes les espèces sont répartis d'une façon égale (Calu, 2020). L'indice de Shannon varie alors entre 0 et H'max. Cependant la comparaison de ces indices reste délicate étant donné que l'indice de Shannon est forcément lié à la taille de l'échantillon (FSA, 2017) .

- L'indice d'équitabilité

Eq = H'/H'max

L'indice d'équitabilité se définit comme le rapport entre la diversité de l'échantillon et la diversité maximale. Il permet d'étudier la répartition de chaque taxon au sein d'un peuplement et ainsi étudier son niveau de structure. Il tend vers 1 quand les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques. Au contraire, il est égal à 0 lorsqu'une seule espèce domine tout le peuplement.

G. Analyse statistique

Grâce au logiciel R, des analyses statistiques peuvent vérifier si les différences entre les modalités sont significatives ou non (R CORE TEAM, 2021).

Le test ANOVA permet de répondre à cette question. Cependant il faut vérifier la normalité des données avec le test de Shapiro et l'homoscédasticité avec le test de Bartlett. Si l'une de ces conditions n'est pas vérifiées, le test de Kruskal Wallis est utilisé pour comparer les données non paramétriques.

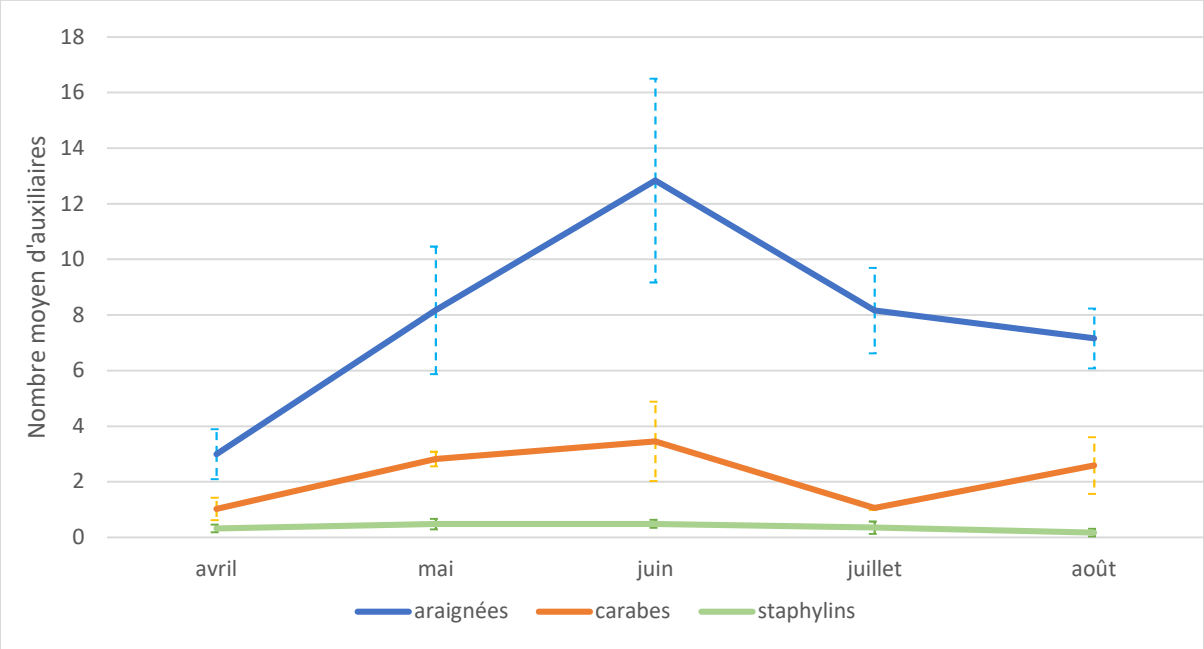
Les données récoltées pour cette étude, suivent rarement une loi normale. C'est alors le test de Kruskal qui est le plus fréquemment utilisé. Il correspond bien aux analyses attendues pour cette étude puisqu'il nécessite d'au moins trois échantillons : ce qui correspond aux trois pots que constituent une modalité.

V. Résultats

A. L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins

Pour rappel, l'activité-densité fait référence au nombre d'individus capturé par le pot Barber. Elle renseigne du niveau d'abondance sur la parcelle. Comme certains pots ont été détruits durant les suivis, il est difficile de comparer le nombre exact d'individus entre chaque modalité. Cela serait à l'origine de nombreux biais. Les résultats de l'activité-densité sont alors présentés par le nombre moyen d'individus observés par pot. Cela correspond à la moyenne de tous les individus observés au sein des 3 pots que constituent une modalité.

Saisonnalité sur l'ensemble des parcelles

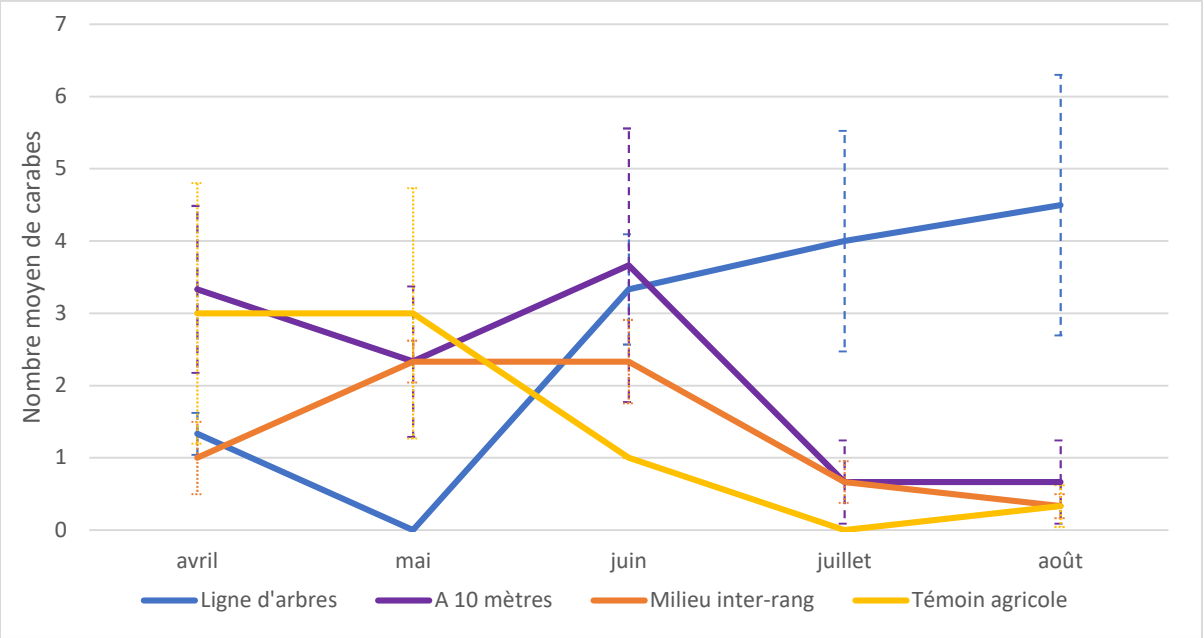


Graphique 1: Nombre moyen d'auxiliaires présents par pot sur l'ensemble des parcelles au long de la saison

Le graphique 1 montre la tendance générale du nombre moyen d'auxiliaires présents par pot sur l'ensemble des cinq parcelles au long de la saison. Le nombre moyen d'araignées a triplé entre avril et juin avant de diminuer de moitié en juillet. Le nombre moyen de carabes par pot a également été multiplié par plus de 3 entre avril et juin : 1 carabe par pot en avril et 3,5 en juin. En juillet, comme pour les araignées, le nombre de carabes par pot est au plus bas. En août, ces les populations de carabes connaissent une légère augmentation de leur activité-densité.

Quant aux staphylins, leur nombre est trop faible pour observer une tendance.

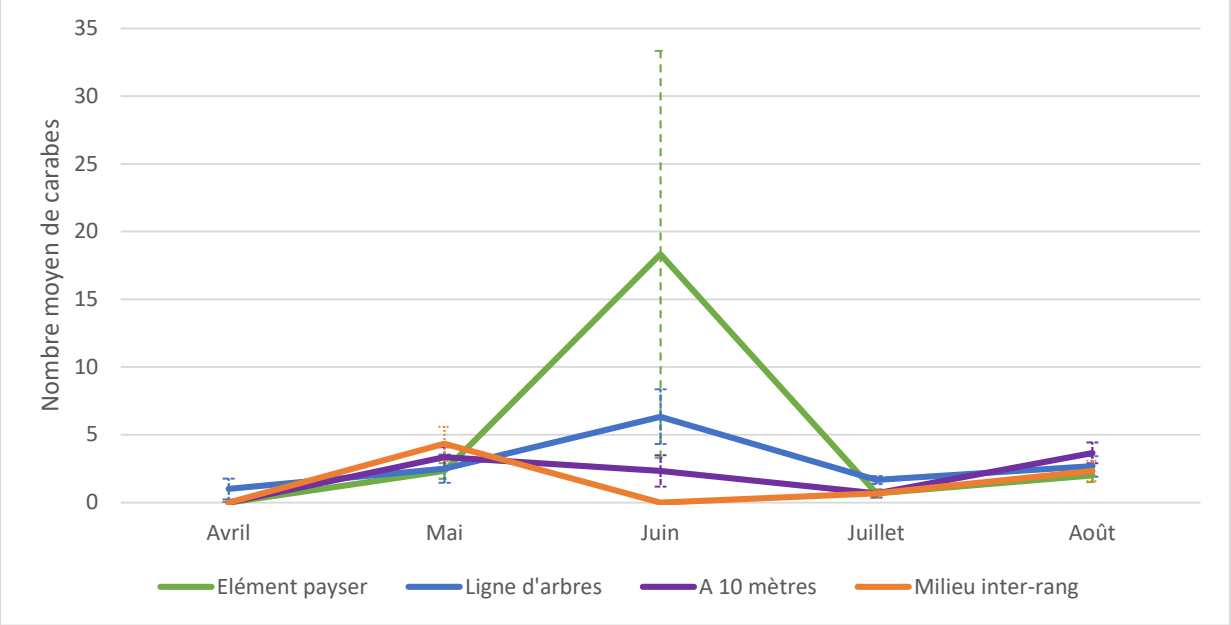
1. Carabes



Graphique 2: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité

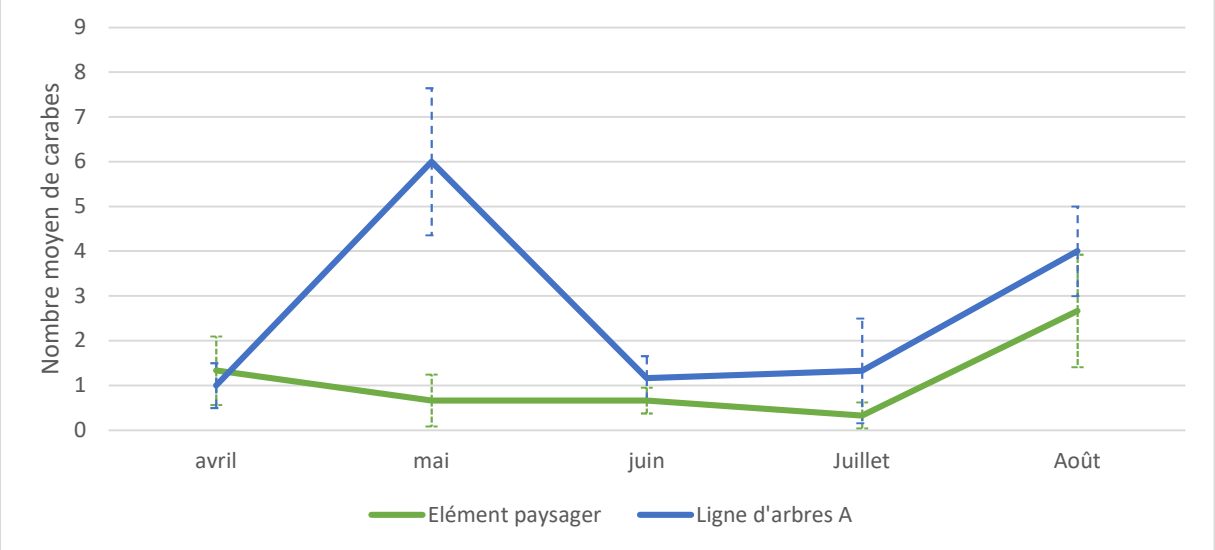
De manière générale, les carabes sont peu représentés sur la parcelle « Vinon – Sd », rendant le graphique 2 difficilement interprétable : il est difficile de discerner une tendance au cours de la saison et selon les modalités.

Cependant, les carabes présents dans le témoin agricole ont diminué entre avril et mai, en passant de 3 à 0 individu par pot en moyenne. Entre le mois de juin et juillet (après la moisson), toutes les modalités issues d'une zone cultivée (milieu inter-rang, 10 mètres et témoin agricole) voient leur nombre moyen de carabes chuter, arrivant à moins d'un carabe par pot en moyenne pour chacune d'elle. Seule la modalité « ligne d'arbres » continue de voir ses carabes augmenter entre juin et juillet. Or, c'est la seule modalité qui ne connaît pas de perturbations agricoles sur cette parcelle.



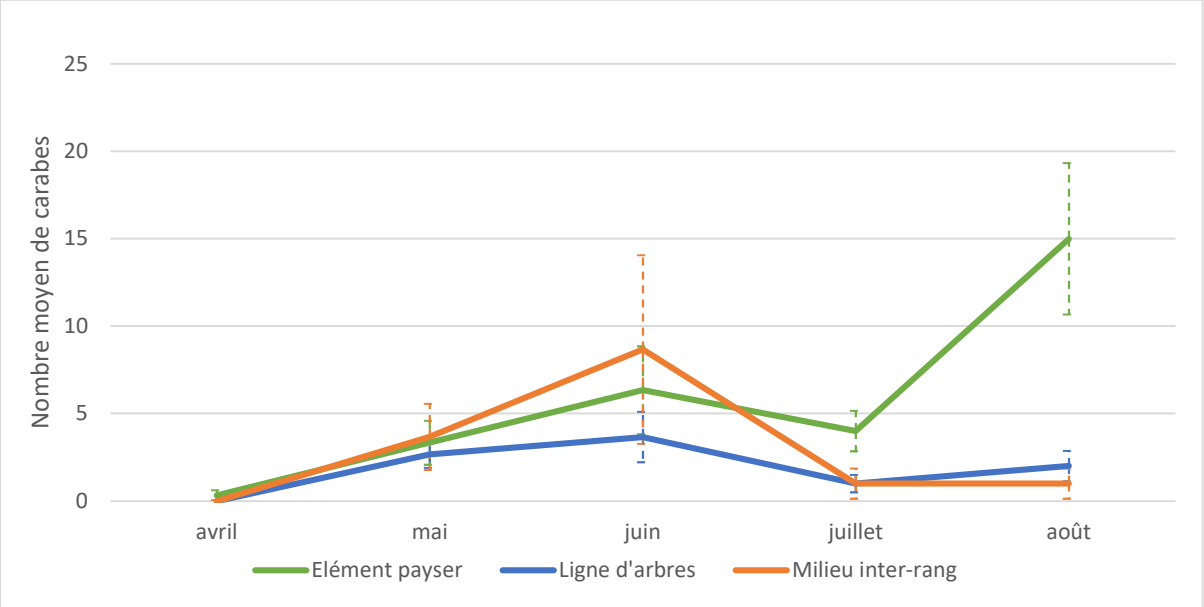
Graphique 3: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Valensole - BO" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Pour la parcelle « Valensole – Bois d'œuvre » (Graphique 3), la même tendance que pour les araignées est observée : une légère augmentation entre avril et mars, puis les écarts qui se creusent au mois de juin. Il semblerait y avoir un gradient de présence, du milieu le plus arboré au moins arboré. En effet il y plus de carabes dans l'élément paysager, que dans la ligne d'arbres. A 10 mètres de la ligne d'arbres, l'activité-densité est encore plus faible et au milieu de l'inter-rang elle est nulle. Des différences significatives sont révélées par R : entre la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang, ainsi qu'entre l'élément paysager et le milieu de l'inter-rang, vérifié par le test de Kruskal-Wallis avec une p-value de 0.03389 pour les deux. Entre juillet et août, les modalités ont toute la même tendance, à savoir une légère augmentation du nombre moyen d'individus par pot.



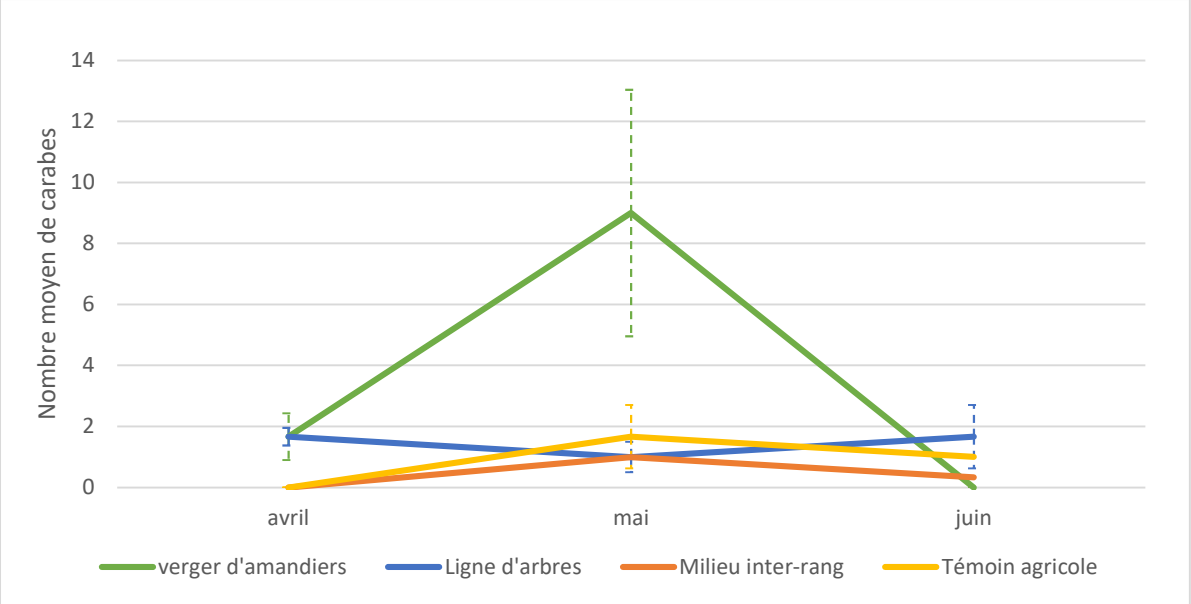
Graphique 4: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Sur la parcelle « Forcalquier – Sf » (graphique 4), entre avril et juillet, l'activité-densité au sein de l'élément paysager ne cesse de diminuer. En août elle connaît une augmentation. Quant à la ligne d'arbres, elle augmente entre avril et mai, pour redescendre à la même activité en juin qu'en avril. Entre juin et août elle ne cesse d'augmenter. De manière générale, l'activité-densité est toujours supérieure dans la ligne d'arbres que dans l'élément paysager.



Graphique 5: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Pour la parcelle sainte Baume – Prairie (Graphique 5), une augmentation assez linéaire de l'activité est observée entre avril et mai, avec encore une fois des différences plus visibles au moins de juin. Toutefois, aucune différence significative n'est observée, mais la ligne d'arbres détient le nombre moyen de carabe le plus faible avec 3,7 individus par pot soit plus de deux fois moins que le milieu de l'inter-rang. Après la fauche, mi-juillet, le nombre d'individus du milieu de l'inter-rang est divisé par 8. En août, le nombre d'individus au sein de l'élément paysager est presque multiplié par 4. Quant aux deux autres modalités, la ligne d'arbres connaît une très légère augmentation et le milieu de l'inter-rang rang reste similaire. Une différence significative est alors observé entre le milieu de l'inter-rang et l'élément paysager avec une p-value à 0.04311.

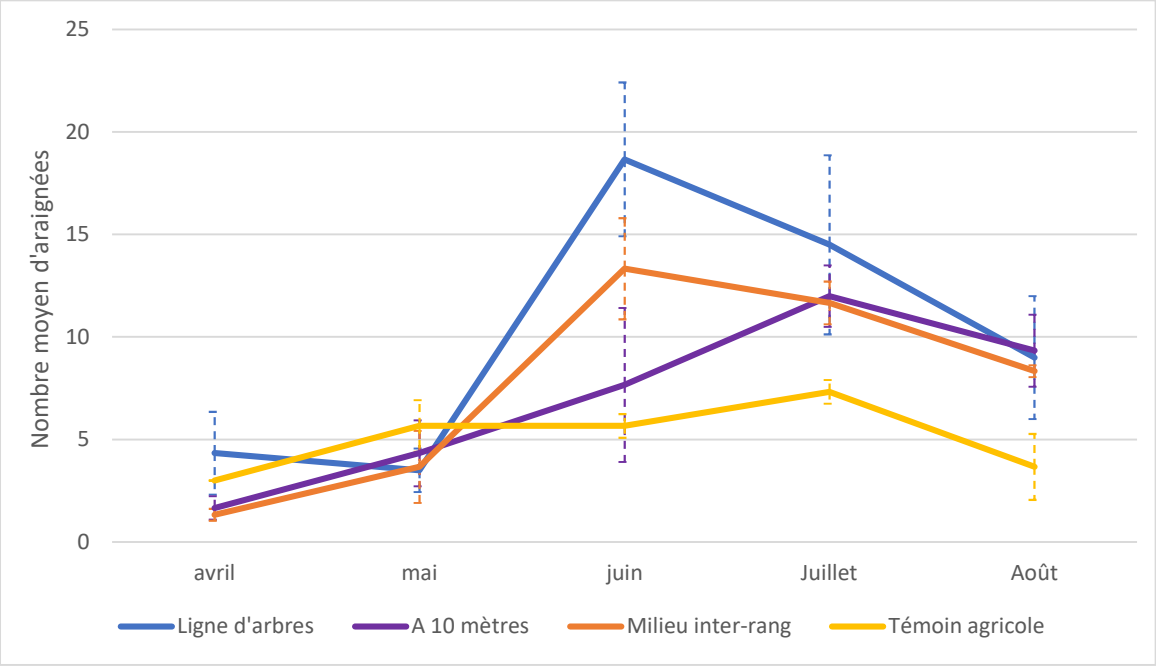


Graphique 6: Nombre moyen de carabes par pot dans la parcelle "Beaurecueil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Au sein de la parcelle « Beaurecueil – Amandiers » (graphique 6), les sangliers ont détruit de nombreux pots, aucun carabe n'a donc été observé pour les mois de juillet et août. 11 pots sur 12 détruits en juillet et 9 pots sur 12 en août. Parmi les pots épargnés, aucun ne contenait de carabe. Les résultats présentés ci-dessous sont donc ceux des mois d'avril, mai et juin.

En avril, dans les deux zones arborées de la parcelle à savoir la ligne d'arbres et le verger d'amandiers, les carabes ont la même activité-densité : 1,7 individus par pot en moyenne. Quant aux modalités en zone de culture, à savoir le milieu de l'inter-rang et le témoin agricole, aucun carabe n'a été relevé pour le mois d'avril. En mai, l'activité-densité dans le verger d'amandiers explose avec 9,3 individus recensés en moyenne soit plus de 5 fois qu'en avril. Quant aux activités-densités au sein des autres modalités, elles augmentent aussi excepté celle de de la ligne d'arbres. En juin, dans le verger, elle diminue drastiquement. Les carabes sont faiblement représentés dans les trois autres modalités.

2. Araignées



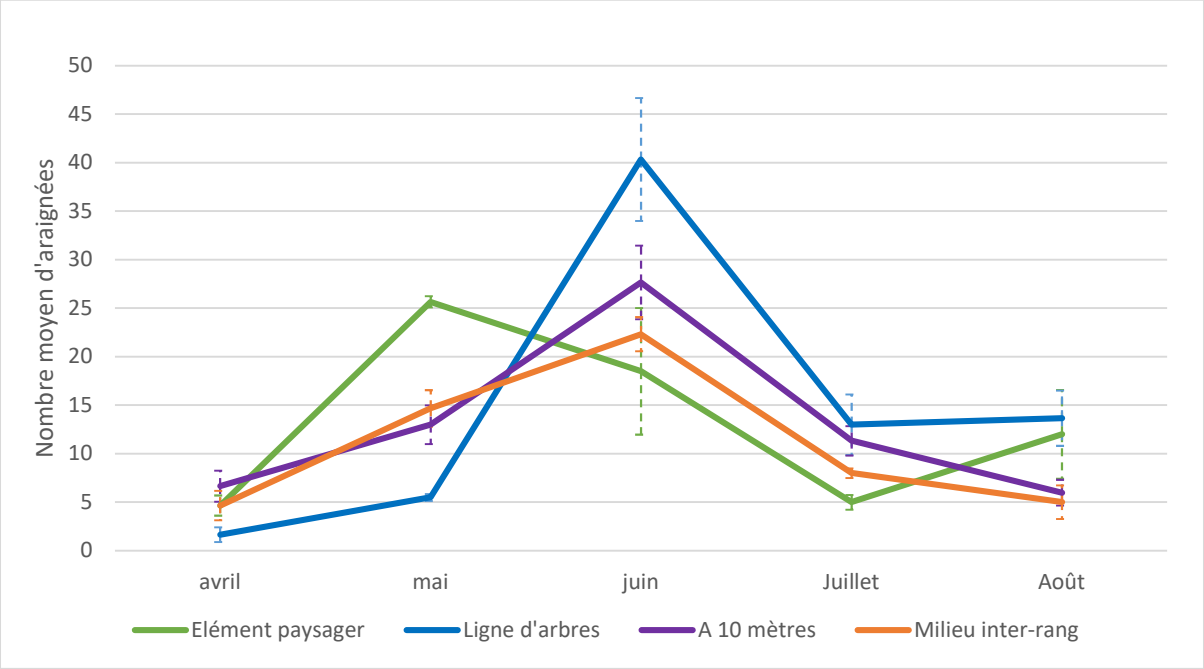
Graphique 7: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Sur la parcelle « Vinon – Sd » (graphique 7), en avril, le nombre d'araignées est légèrement supérieur sur la ligne d'arbres par rapport aux autres modalités avec une moyenne de 4,3 par pot. Aucune différence significative n'est observée entre ces quatre modalités. En mai, une légère augmentation est observée avec le témoin agricole qui cette fois ci a le nombre d'araignées le plus élevé avec 5,6 individus piégés par pot en moyenne. Encore une fois, aucune différence significative n'est révélée statistiquement.

En juin, les écarts se creusent entre les modalités : le nombre d'araignées piégées sur la ligne d'arbres est multiplié par 5 entre mai et juin passant de 3,5 à 18,7 individus par pot en moyenne. Toutes les modalités connaissent une augmentation exceptée celle du témoin agricole. Les araignées présentes sur la ligne d'arbres sont 3 fois plus nombreuses que sur la parcelle du témoin agricole. Une différence significative est constatée entre la ligne d'arbres et le témoin agricole avec une p-value de 0.04311 (<0,05).

En juillet, la moyenne des araignées piégés par pot sur toutes les modalités confondues est similaire au mois précédent : 11,3 pour juin et 11,5 en juillet. Cependant le nombre d'araignées dans le milieu de l'inter-rang et la ligne d'arbres diminuent tandis que le témoin agricole et « à 10m de la ligne » augmentent. Malgré la moisson le 14 juillet, le nombre d'individu par pot augmente à 10 mètres de la ligne d'arbres et dans le témoin agricole.

En août, le nombre moyen d'araignée diminue pour toutes les modalités. Seul le témoin agricole reste en marge des autres avec 3,7 araignées par pot, sans aucune différence significative par rapport aux trois autres modalités.



Graphique 8: Nombre moyen d'araignées par pot par modalité dans la parcelle "Valensole -BO" au cours de la saisonnalité

La parcelle « Valensole – Bo » est celle dont l'activité-densité des araignées est la plus forte parmi toutes les parcelles. En avril, aucune différence significative est constatée et 4,4 araignées sont représentées par pot sur l'ensemble de la parcelle (graphique 8).

Dès le mois de mai, de nombreuses différences significatives sont mises en lumière entre :

- la ligne d'arbres et à 10 mètres de la ligne avec une p value a 0.0115 vérifié par le test ANOVA
- la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang avec une p-value de 0.0345 vérifié par le test ANOVA
- la ligne d'arbres et l'élément paysager en bordure de parcelle avec une p-value = 0.0463 vérifiée par le test de Kruskal Wallis. L'activité-densité des araignées est 5 fois plus importante en bordure de parcelle dans l'élément paysager que sur la ligne d'arbres.

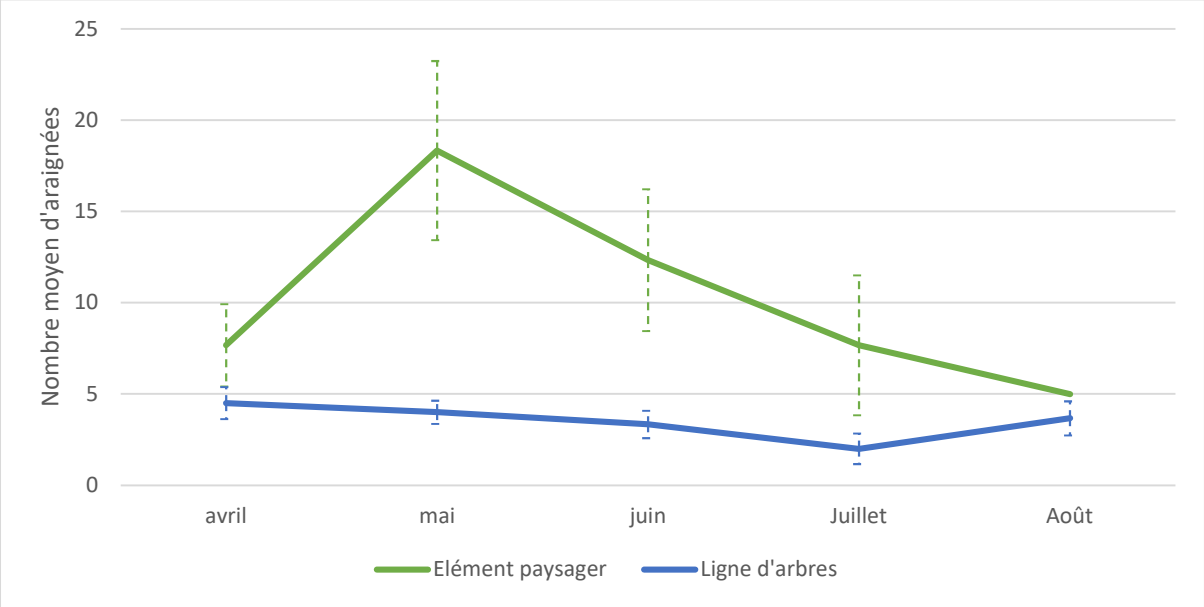
En juin, la présence d'araignée au sein de la ligne d'arbres augmente considérablement : elle était la plus faible en avril et mars avec 1,7 et 5,5 araignées par pot en moyenne mais en juin elle est la plus élevée avec 40,3 araignées par pot en moyenne. Toutefois, aucune différence n'est significative entre chaque modalité. Force est de constater que le nombre d'individus augmente au sein de cette ligne d'arbres bien qu'elle eût été perturbée par un débroussaillage le 5 juin soit 12 jours avant le suivi.

En juillet, le nombre moyen d'araignée baisse pour chaque modalité, de manière égale. C'est dans la ligne d'arbre que l'activité-densité reste la plus forte. Pour rappel, le 4ème suivi s'est fait

le 20 juillet, soit seulement une semaine après la moisson. Les milieux non perturbés tels que l'élément paysager et la ligne d'arbres ne sont pas épargnés par cette baisse.

En août, les deux modalités propres aux zones de cultures (« milieu inter-rang » et « à 10m ») connaissent une diminution de leur nombre moyen d'araignées par pot. Au contraire, les milieux non perturbés et arborés tels que la ligne d'arbres et l'élément paysager détiennent le plus grand nombre d'individus par pot. Une différence statistique est révélée entre les modalités « ligne d'arbres » et « A 10m ».

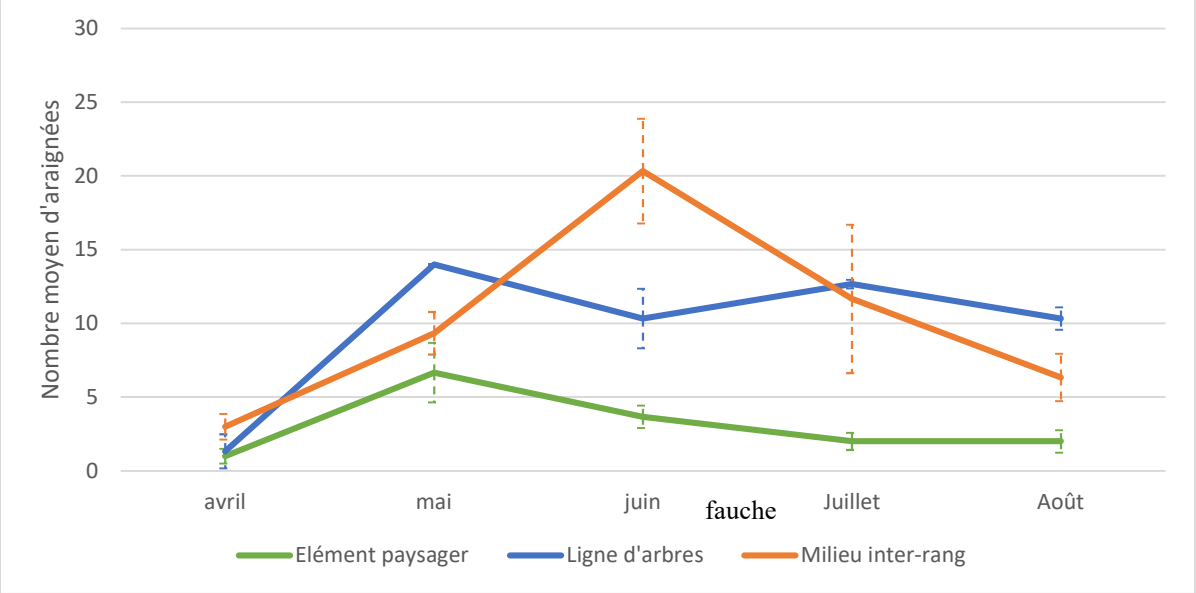
Tout au long de la saison, les deux modalités de l'inter-rang à savoir « A 10 mètres de la ligne » et « Milieu de l'inter-rang » évoluent de la même manière.



Graphique 9: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Sur la parcelle « Forcalquier – Sainfoin », seule deux modalités sont testées : la ligne d'arbres et l'élément paysager. Cependant, deux lignes d'arbres distinctes ont été suivi durant la saison, afin d'observer les différences intra-parcellaires pour une même modalité.

Sur la ligne d'arbres, le nombre moyen d'araignées par pot n'a fait que décroître entre avril et juillet. Leur nombre moyen est passée de 4,5 araignées par pot en avril à 2 en juillet. En août, l'activité-densité connaît une légère augmentation. Quant à l'élément paysager, il connaît une forte croissance entre avril et mai en passant de 7,7 à 18,3 individus par pot puis n'arrête pas de diminuer jusqu'en août.



Graphique 10: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Au sein de la parcelle « Sainte Baume – Prairie », une croissance importante peut déjà s'observer entre avril et mai, toutes modalités confondues : 1,7 araignée en moyenne par pot en avril et 10 en mai.

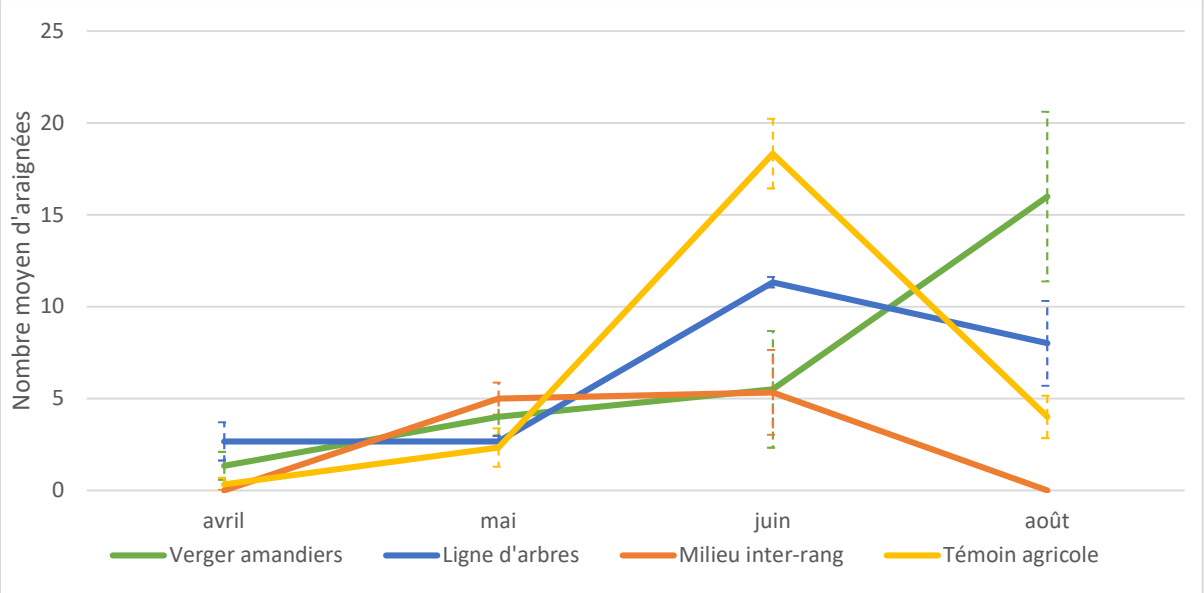
En avril, le nombre moyen d'araignées est très proche pour toutes les modalités variant de 1 araignée par pot en moyenne pour l'élément paysager à 3 pour le milieu de l'inter-rang.

En mai, la ligne d'arbres représente le plus grand nombre moyen d'araignées avec 14 individus par pots. Deux différences significative sont révélées sur R par le test de Kruskal-Wallis: entre la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang avec une p value de 0.03389 ; et entre la ligne d'arbres et l'élément paysager avec une p-value de 0.0369.

En juin, le milieu de l'inter-rang connaît une plus grande présence en araignées que les autres modalités avec une moyenne de 20,3 individus par pot. Seule une différence est significative : entre le milieu de l'inter-rang et l'élément paysager avec une p-value de 0.0164.

En juillet, le nombre moyen d'individus présents dans le milieu de l'inter-rang diminue fortement, après la fauche de la prairie qui a eu lieu le 9 juillet. Le nombre d'araignées diminue également dans l'élément paysager. Ainsi, les araignées se retrouvent plus nombreuses dans la ligne d'arbres avec en moyenne 12,7 individus par pot.

En août, seul l'élément paysager a un nombre moyen d'araignées par pot stable par rapport à juillet, contrairement aux deux autres modalités qui présentent une légère diminution de l'activité-densité.



Graphique 11: Nombre moyen d'araignées par pot dans la parcelle "Beaureceuil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Au sein de la parcelle « Beaurecueil – Amandiers », de nombreux pots ont été détruits en juillet et août, conduisant à de la perte de données, c'est pourquoi le graphique ne présente pas les résultats de juillet (graphique 11).

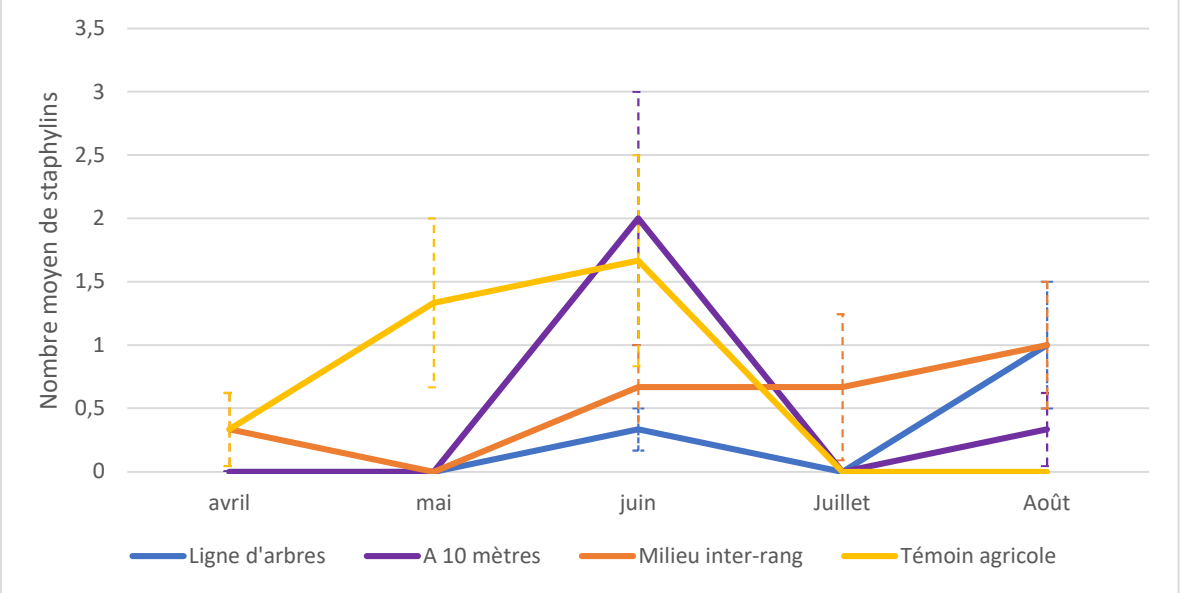
Sur l'ensemble de la parcelle, toutes modalités confondues, l'activité-densité des araignées augmente jusqu'en juin, passant de 1,1 araignée piégée par pot en moyenne en avril à 3,5 en mai et 10,1 en juin.

De même que pour la parcelle « Vinon – Sd », il n'y a ici aucune différence significative entre les modalités étudiées pour les mois d'avril et mai. C'est encore une fois en juin que les écarts se creusent entre chacune d'entre elles. Plusieurs différences significatives sont vérifiées statistiquement entre :

- la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang (p-value à 0.04311)
- la ligne d'arbres et le témoin agricole (p-value à 0.0463)
- le verger d'amandier et le témoin paysager (p-value = 0.0264)

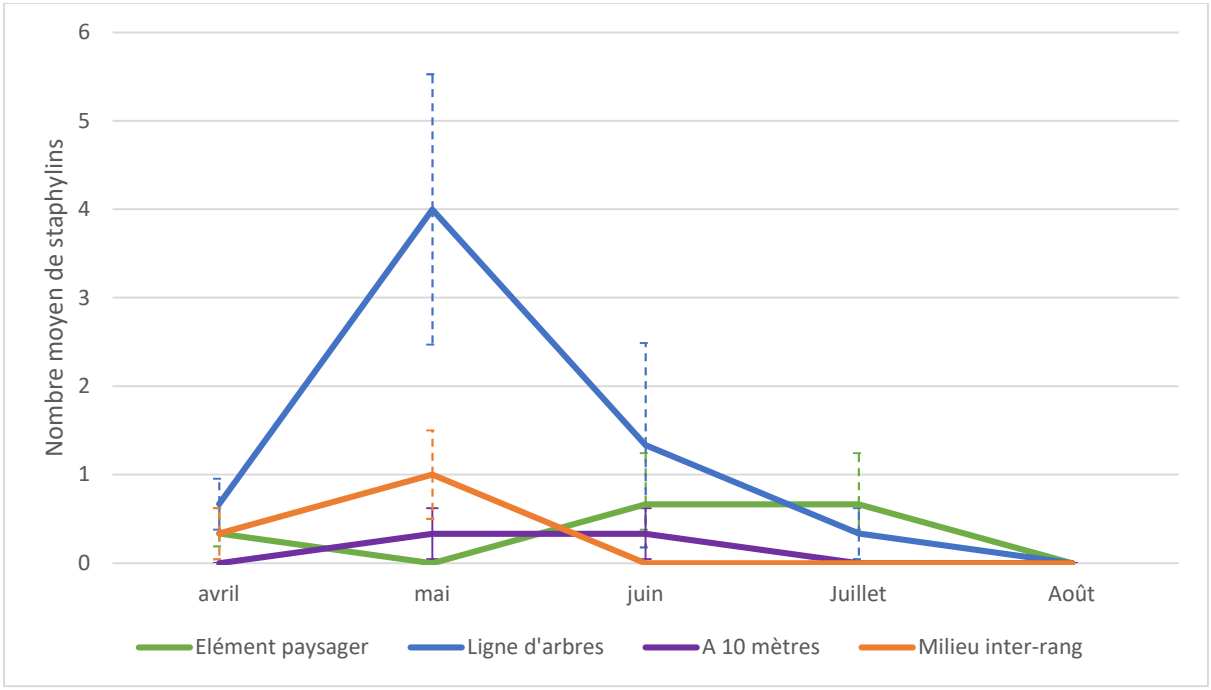
3. Staphylins

Pour l'ensemble des parcelles, les staphylins sont très peu représentés. Il est donc difficile d'observer une quelconque tendance. De ce fait, seule leur activité-densité est analysée dans cette étude. L'objectif est également d'étudier leur diversité selon leur taille, mais au vu du faible nombre de données, cela n'est pas envisageable. Aucune différence significative n'a été décelée entre les modalités, pour chacune des parcelles.



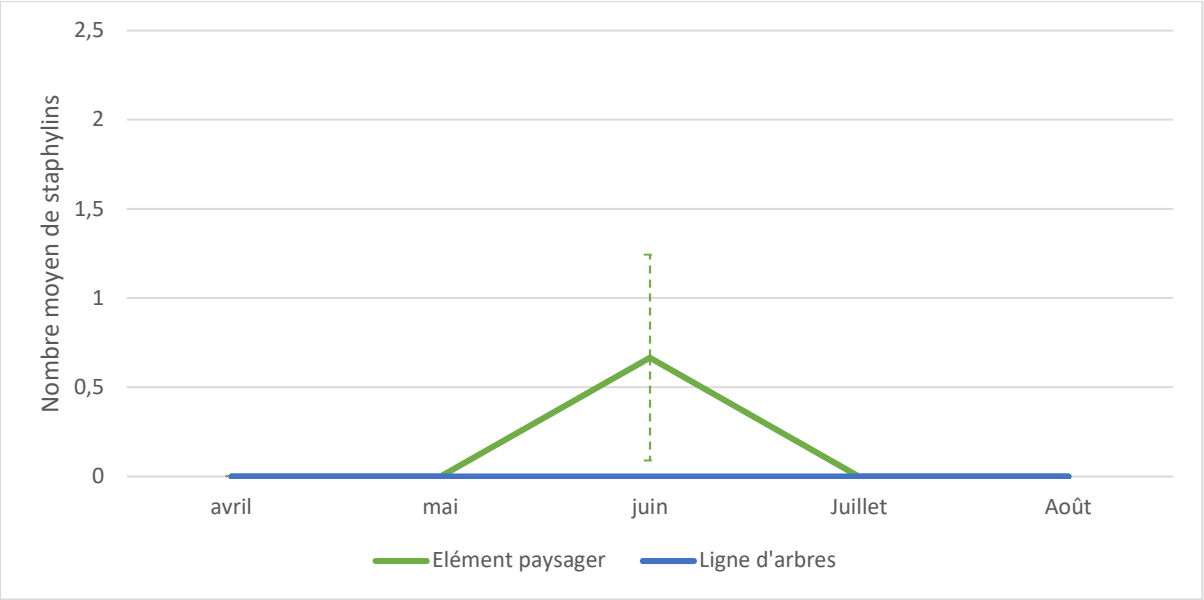
Graphique 12: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Vinon - SD" selon les modalités au cours de la saisonnalité

En avril et mai, sur la parcelle Vinon – Semis Direct, c'est le témoin agricole qui détient le plus grand nombre de staphylins (graphique 12). En juin, l'activité-densité de toutes les modalités augmentent et les trois zones cultivées sont les modalités qui présentent la plus forte activité-densité. Dans la modalité « A 10 mètres de la ligne d'arbres », deux staphylins par pot sont observés en moyenne, ce qui constitue la plus forte activité-densité. En juillet, seuls 2 staphylins ont été capturés dans le milieu de l'inter-rang. En août, l'activité-densité de toutes les modalités augmente sauf pour le témoin qui reste nulle.



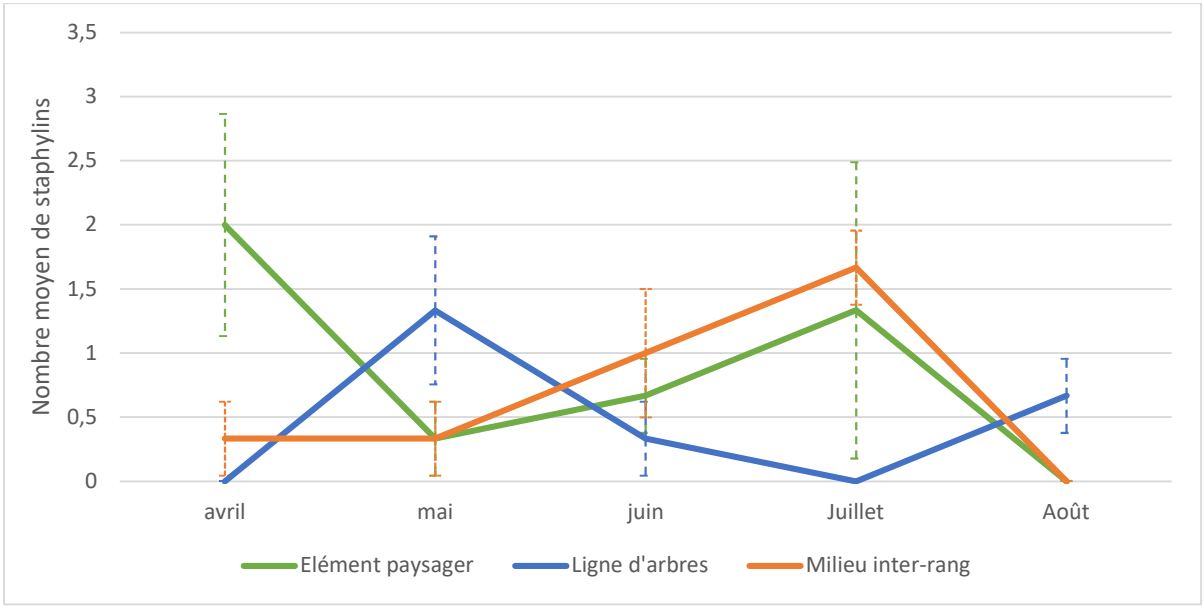
Graphique 13: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Valensole - BO" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Sur la parcelle de Valensole – BO (graphique 13), c'est au sein de la ligne d'arbres qu'est observée la plus forte activité-densité, avec un pic en mai (4 fois plus qu'en avril). En juin et juillet, ce sont les deux modalités non cultivées et arborées qui détiennent le plus grand nombre de staphylins. Toutefois, ils restent peu nombreux, moins de 1 staphylin par pot. En août, aucun staphylin n'a été observé sur l'ensemble de la parcelle.



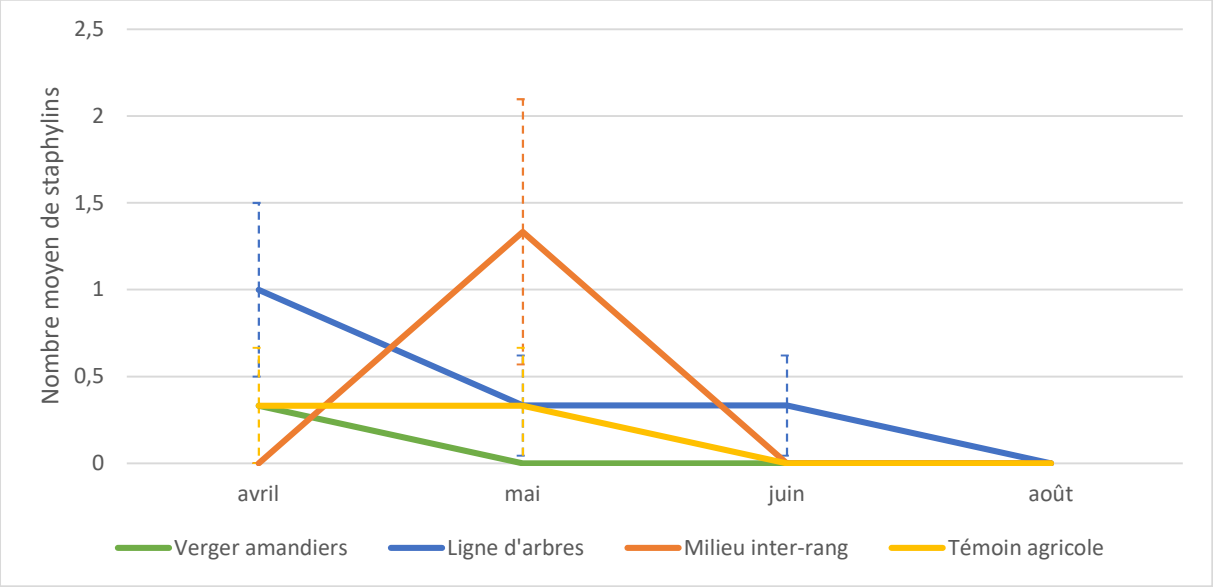
Graphique 14: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Forcalquier - Sf" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Au sein des deux lignes d'arbres étudiées dans la parcelle Forcalquier - Sf, ce qui représente 6 pots, aucun staphylin n'a été observé sur l'ensemble de la saison (graphique 14). Seulement deux staphylins ont été observés dans l'élément paysager en bordure de parcelle au mois de juin.



Graphique 15: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Ste Baume - P" selon les modalités au cours de la saisonnalité

En avril, c'est l'élément paysager qui détient le plus de staphylins avec 2 individus par pot en moyenne (graphique 15). A partir de juin, l'élément paysager et le milieu de l'inter-rang suivent la même tendance, bien que leurs milieux respectifs soient distincts. L'activité-densité augmente jusqu'en juillet et retombe à zéro en août. Quant à la ligne d'arbres, elle suit la tendance inverse : diminution de l'activité-densité jusqu'en juillet pour augmenter en août.



Graphique 16: Nombre moyen de staphylins par pot dans la parcelle "Beaurecueil - A" selon les modalités au cours de la saisonnalité

Sur la parcelle de Beaurecueil, l'activité-densité des staphylins au sein des différentes modalités devient nulle les unes après les autres (graphique 16). En mai, c'est l'élément paysager qui devient nul, alors que le milieu de l'inter-rang connaît une très légère augmentation. L'activité-densité devient nulle en juin dans le témoin agricole et le milieu de l'inter-rang, et en juillet dans la ligne d'arbres.

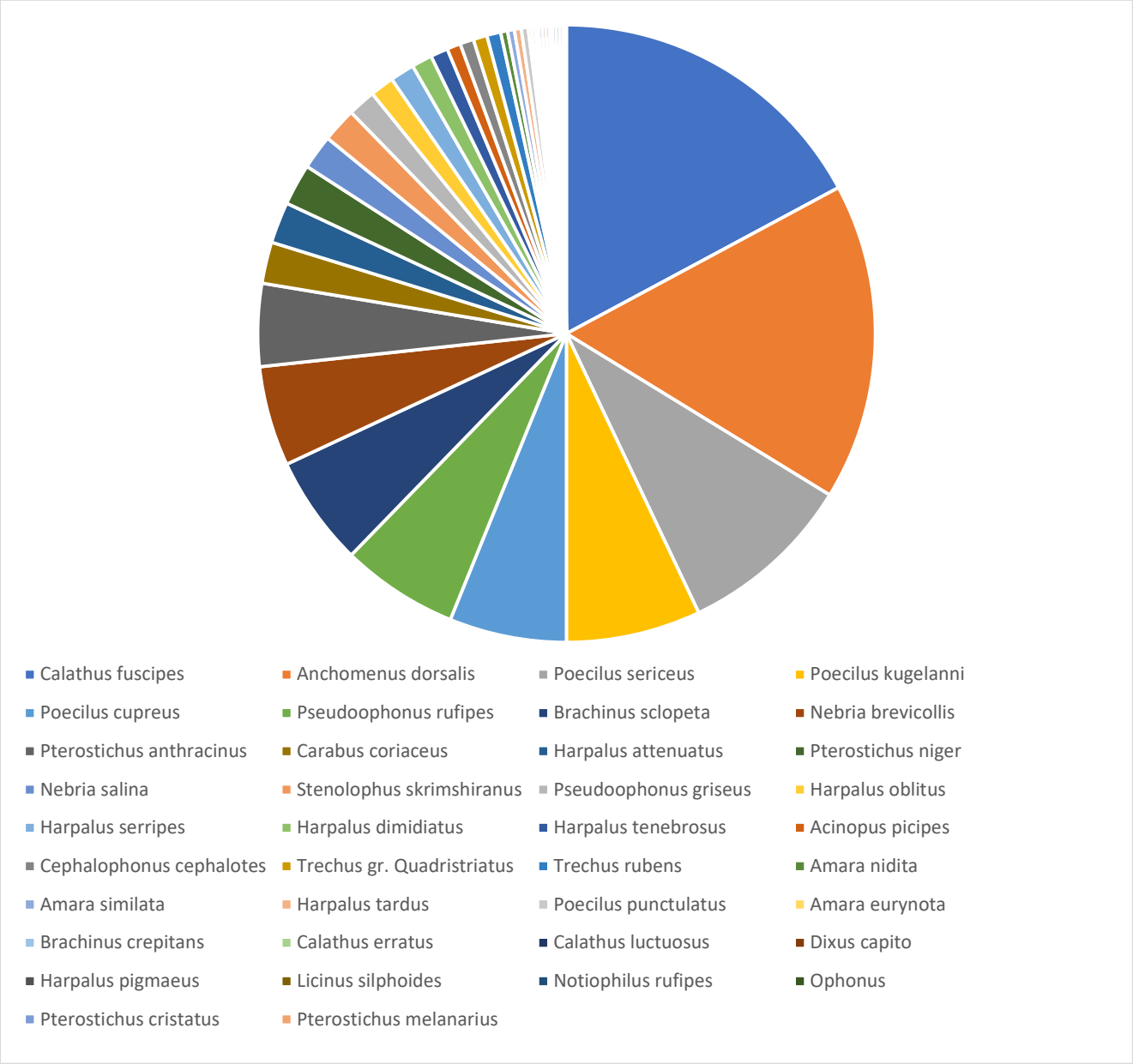
Conclusion de l'activité-densité :

- Pour toutes les parcelles, une augmentation de l'activité-densité des carabes est constatée entre avril et mai (sauf pour celle de Vinon), puis elle diminue entre juin et juillet et augmente légèrement en août
- L'activité-densité des carabes et des araignées est plus élevée dans la ligne d'arbres entre juin et août sur la parcelle de Vinon. Le témoin agricole connaît une faible activité-densité de ces deux auxiliaires.
- Sur la parcelle de Valensole, l'activité-densité des carabes de chaque modalité suit la même tendance toute la saison sauf en juin où elles se distinguent : l'élément paysager détient la plus forte. Les deux modalités avec une présence d'arbres (LA et EP) ont des différences significatives avec le milieu de l'inter-rang. Pour les araignées, en juin également, c'est la ligne d'arbres qui détient l'activité-densité la plus forte et leur présence est toujours plus forte dans les milieux arborés.
- Les parcelles de Forcalquier et de Beaurecueil sont les seules qui voient chuter l'activité-densité des carabes dès le mois de juin
- La ligne d'arbres de la Sainte Baume connaît une faible activité-densité des carabes
- L'élément paysager de Forcalquier a la plus forte activité-densité des araignées contrairement à la parcelle de Ste Baume.
- En juin dans la parcelle de Beaurecueil, l'activité-densité des araignées est la plus forte dans le témoin agricole.
- Les staphylins sont trop peu nombreux pour analyser leur présence et leur déplacement. Ils ne seront plus détaillés dans la suite de l'étude

Ces éléments seront discutés dans la partie discussion.

B. La diversité des espèces de carabes

Seule la diversité en espèces de carabes sera étudiée. Les staphylins étant trop peu nombreux et les familles d'araignée n'ayant rien révélées de pertinents quant à leur diversité.



Graphique 17: Répartition des espèces de carabes sur l'ensemble des cinq parcelles

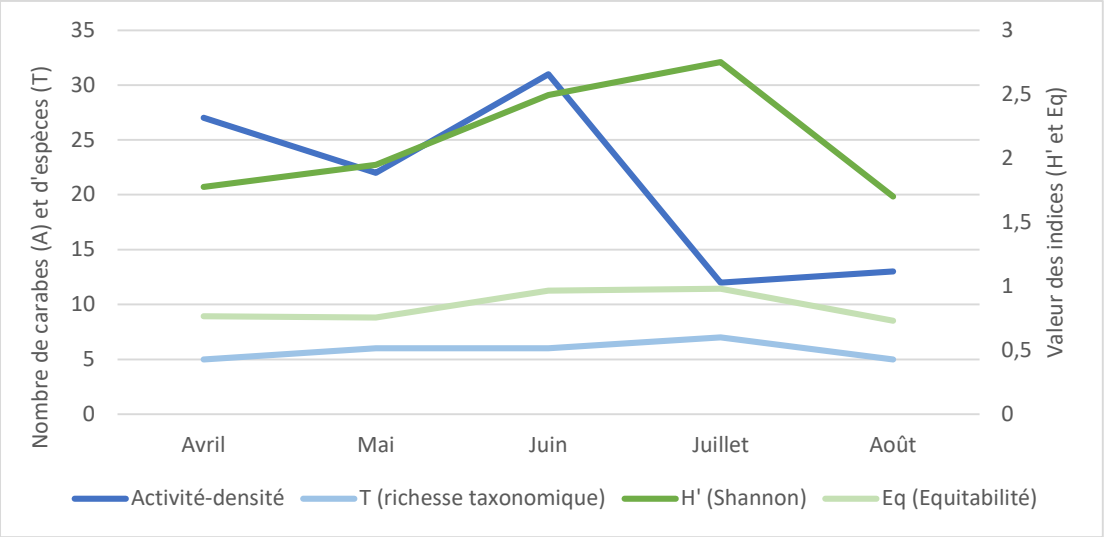
Au total, sur l'ensemble des parcelles et pour toute la saison, 38 espèces de carabes différentes ont été identifiées pour 554 individus (graphique 17). Les quatre premières espèces, *Calathus fuscipes Anchomenus dorsalis Poecilus sericeus Poecilus kugelanni*, représentent exactement 50% de la totalité des carabes recensés pour une somme de 277 carabes. Ces espèces types seront détaillées plus amplement dans la discussion. *Poecilus cupreus, pseudoophonus rufipes, Brachnis sclopet* le seront également.

1. Indice de biodiversité

Tout comme pour l'activité-densité, la partie diversité est traitée parcelle par parcelle. Pour chacun des graphiques suivants seront abordés dans un premier temps les indices de biodiversité selon la saisonnalité afin de répondre à l'hypothèse 2. Ils sont décrits sur l'ensemble de la parcelle, entre avril et août, toutes modalités confondues. Ensuite, les mêmes indices seront dévoilés selon les modalités, sur un seul suivi, afin de répondre à l'hypothèse 1. Le mois choisi sera le plus pertinent, c'est-à-dire, avec le plus d'écart entre chaque modalité, afin de mettre en lumière des différences entre les modalités. Les tendances pour les autres mois seront aussi décrites. Les tableaux dévoilant les valeurs exactes de tous ces indices sont présentés en annexe 3.

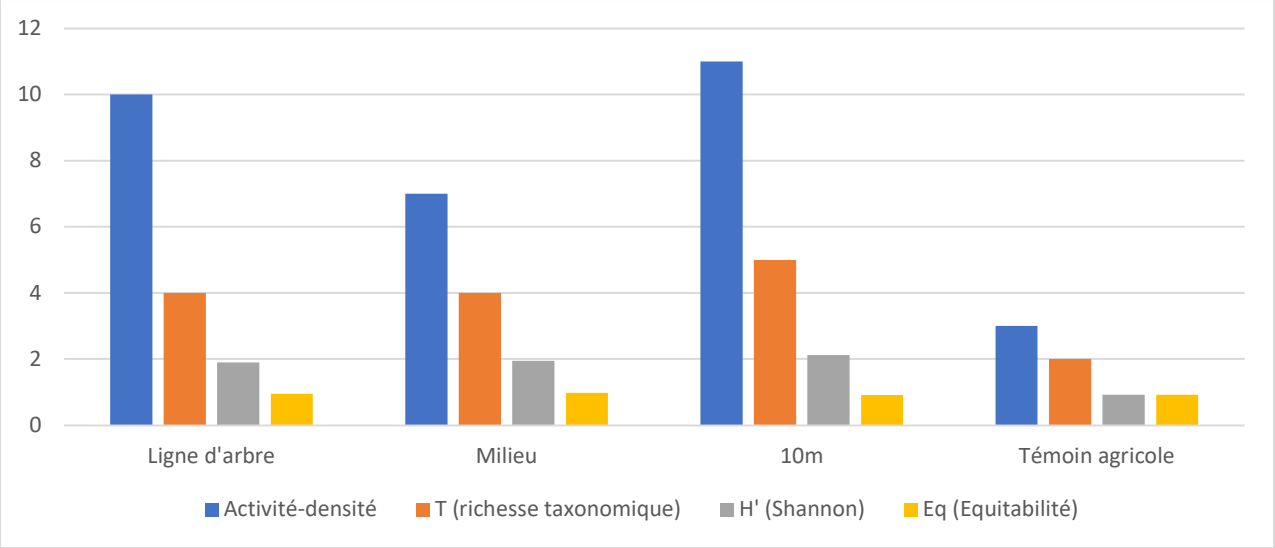
Pour rappel, l'indice de Shannon dépend de la taille de l'échantillon, c'est-à-dire ici, du nombre d'individus capturés. Il faut donc être vigilant lors de sa comparaison. Elle est envisageable seulement lorsque le nombre de carabes présent est similaire d'une modalité à l'autre ou d'un mois à l'autre, selon les graphiques présentés ci-dessous.

Vinon – Semis Direct



Graphique 18: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Vinon - SD

La richesse taxonomique de la parcelle Vinon - Semis direct reste similaire tout au long de la saison sur l'ensemble de la parcelle : entre 5 et 7 espèces sont observées (graphique 18). En juin, les indices de biodiversité augmentent légèrement tout comme l'activité-densité. En juillet, la richesse taxonomique est la plus élevée avec 7 espèces recensées, bien que l'activité-densité diminue. Cela signifie que malgré la diminution du nombre de carabes présents, il y plus d'espèces représentées. L'indice de Shannon peut sembler plus élevé en juillet, mais c'est parce que la taille de l'échantillon a réduit du fait de la diminution de l'activité-densité. En août, l'indice de Shannon baisse fortement alors que l'activité-densité reste plus ou moins la même : la diversité est donc moins bonne en août. Quant à l'indice d'équitabilité, il connaît peu de fluctuations le long de la saison.

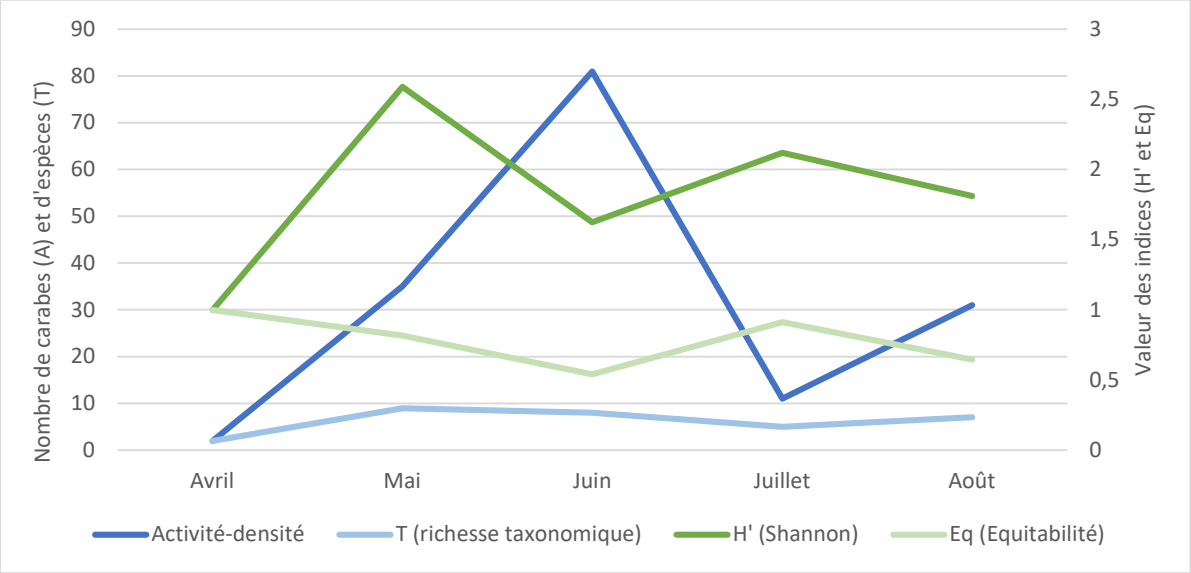


Graphique 19 : Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Vinon -SD en juin

En juin, la richesse taxonomique et les indices de diversité (Shannon et Equitabilité) sont égaux au sein de la ligne d'arbres et du milieu de l'inter-rang (graphique 19). A 10mètres, une espèce est représentée en plus. Au sein du témoin agricole en revanche, des différences sont constatées avec la richesse taxonomique et l'indice de Shannon qui sont divisés par deux. Toutefois l'indice d'équitabilité reste le même que pour les autres modalités. Cela signifie que la diversité est moins importante dans le témoin agricole mais que toutefois, la répartition entre chaque espèce reste la même.

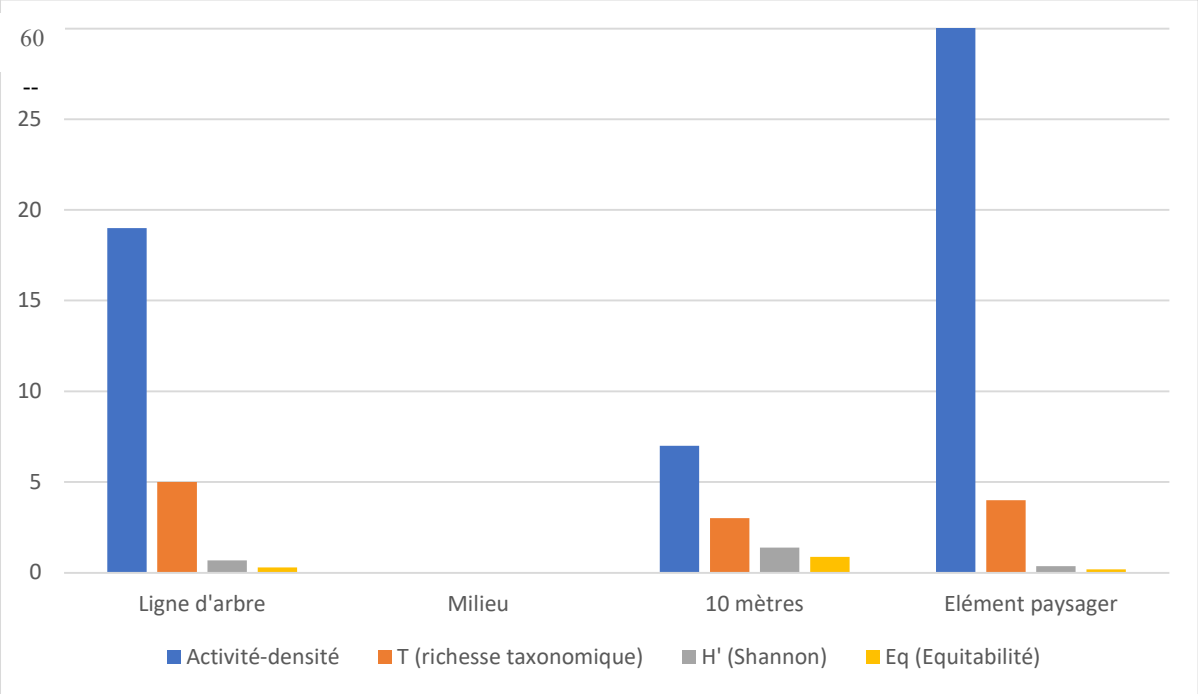
Excepté pour le mois de mai où aucun carabe n'a été capturé au sein de la modalité « ligne d'arbres », c'est dans cette dernière que le plus grand nombre d'espèces a été identifiés. Au mois de juillet, la ligne d'arbres contient trois fois plus d'espèces que l'inter-rang bien que l'activité-densité soit moindre ; l'indice de Shannon est également deux fois plus grand. L'indice d'équitabilité ne connaît aucune variation et signale d'une bonne répartition entre les espèces puisqu'il tend vers 1 pour l'ensemble de la parcelle.

Valensole – Bois d'oeuvre



Graphique 20: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Valensole - BO

En avril, deux carabes de deux espèces différentes ont été observés. Les indices sont alors tous les deux égaux à 1, ce qui correspond à une diversité assez faible mais à une répartition entre espèce parfaite. En mai, la richesse taxonomique est à son maximum avec 9 espèces rencontrées sur la parcelle. Ceci s'accompagne donc d'une augmentation de l'indice de Shannon qui lui aussi est à son maximum. Bien que la richesse taxonomique diminue en juillet, l'indice de Shannon augmente. Ceci est dû au fait de la diminution importante de l'activité-densité. Il est possible de remarquer que lorsque l'activité-densité augmente, l'équitabilité entre les espèces diminue. A l'inverse quand elle diminue, l'équitabilité augmente.



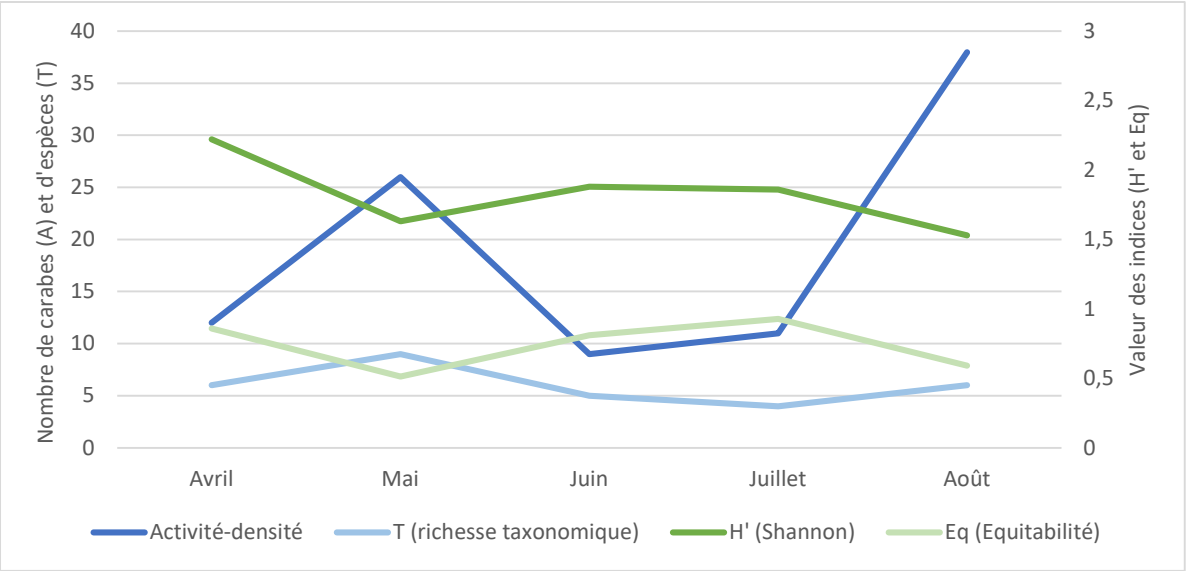
Graphique 21: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Valensole - BO en juin

Afin que ce graphique reste lisible, la barre de l'élément paysager correspondant au nombre moyen de carabes a été tronquée : 60 carabes ont été observés (graphique 21).

C'est dans la ligne d'arbres que la richesse taxonomique est la plus forte. Elle est plus grande dans l'élément paysager qu'à 10 mètres de la ligne d'arbres. Les deux indices de biodiversité sont quant à eux plus élevés dans la modalité « A 10 mètres », du fait de la plus faible activité-densité.

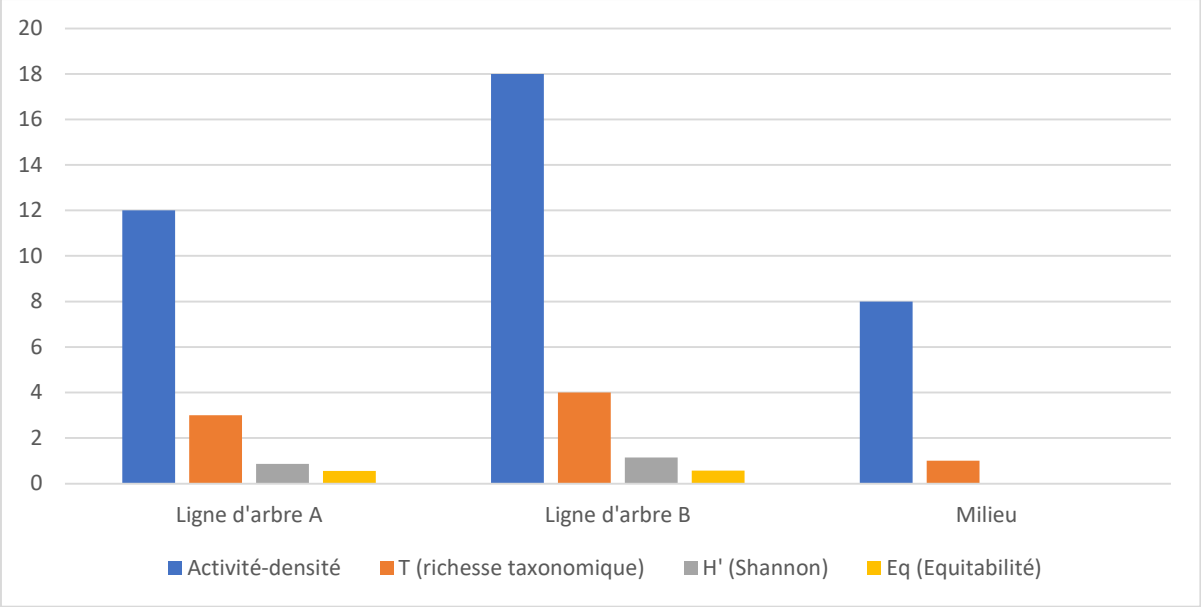
Pour les mois d'avril et juillet c'est également dans la ligne d'arbre que la richesse taxonomique est la plus élevée (annexe 3). En mai et août, elle est la même dans les modalités ligne d'arbres, milieu et 10 mètres. L'indice de Shannon est le plus élevé en mai dans la ligne d'arbres avec une valeur de 1,8. C'est aussi dans la ligne d'arbres que l'indice d'équitabilité est le plus élevé pour tous les mois excepté celui de juin (Annexe).

Forcalquier – sainfoin



Graphique 22: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Forcalquier - Sf

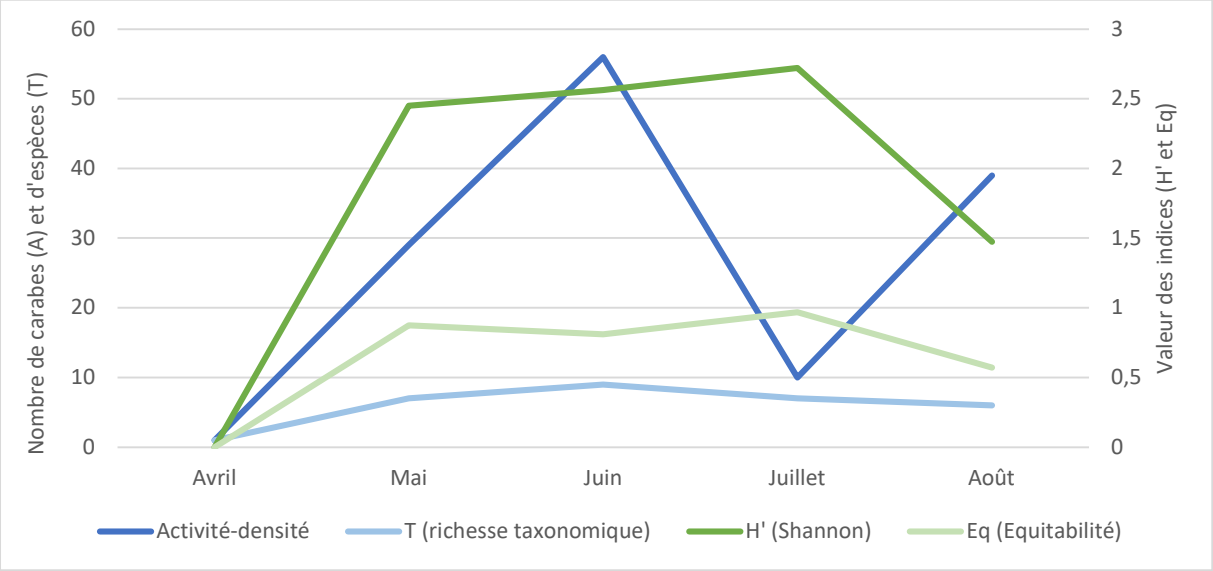
Dans la parcelle Forcalquier - Sf, la richesse taxonomique augmente plus ou moins de pair avec l'activité-densité (graphique 22). En effet, en mai et août, la richesse taxonomique est plus importante que le reste de la saison et cela correspond aussi aux mois où les activités-densités des carabes sont les plus élevées. Les indices de biodiversité fluctuent à l'inverse de l'activité-densité. Une comparaison d'indices de Shannon est possible entre avril et juillet où le nombre d'échantillon est le presque le même (11 et 12) : la diversité est meilleure en avril avec un indice de Shannon plus élevé.



Graphique 23 : Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Forcalquier - Sf en août

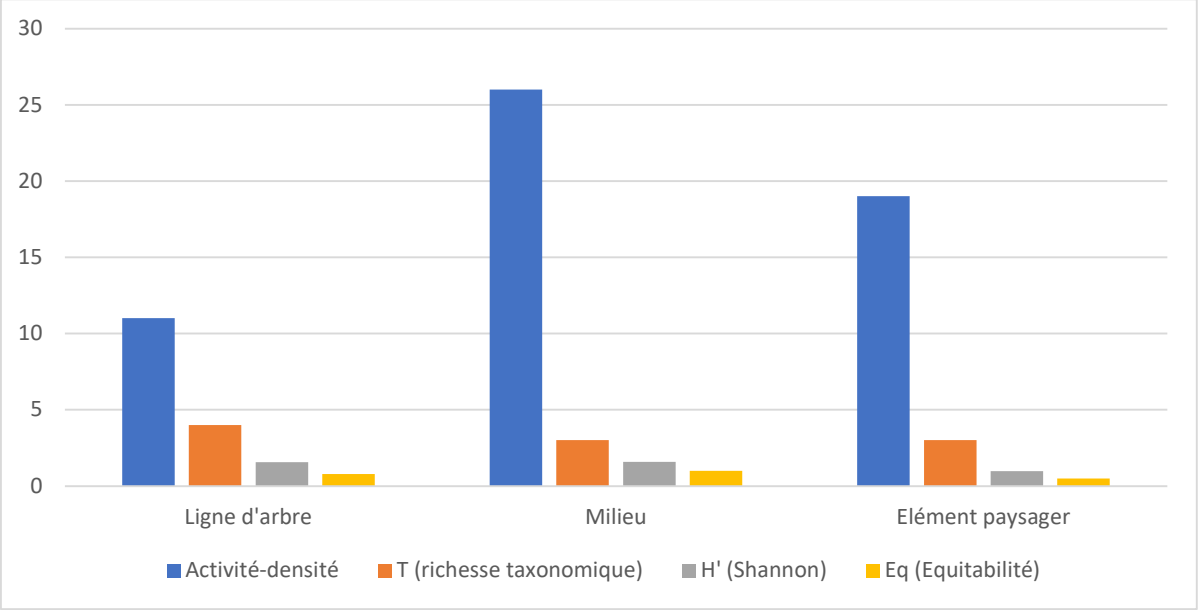
En août, sur la parcelle de Forcalquier, la richesse taxonomique n'est pas la même sur les trois modalités (graphique 23). Celle de la ligne d'arbres A est plus élevé que la B qui est elle-même plus élevé que le milieu. L'indice de Shannon est plus grand sur la ligne d'arbres B puisque l'activité-densité est plus faible que sur la ligne d'arbres A. Cependant, l'indice de Shannon de la modalité « milieu de l'inter-rang » reste bas bien que l'activité-densité soit très faible. Cela signifie donc que le niveau de diversité sur cette modalité n'est effectivement vraiment pas élevé. Les mois de juillet et août ont aussi leur richesse taxonomique plus élevée dans la ligne d'arbres (annexe 3). Mais en avril et juin, celle-ci reste similaire pour toutes les modalités : 2 ou 3 pour mai et 2 pour toutes les modalités en juin.

Sainte Baume Prairie



Graphique 24: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Ste Baume - P

Sur cette parcelle, la richesse taxonomique ne dépasse pas les 10 espèces, au mois de juin, elles sont 9 (graphique 24). Cependant l'indice de Shannon, continue d'augmenter malgré l'augmentation de l'échantillon, ce qui témoigne d'une bonne diversité. En juillet, il est à son apogée du fait de la diminution de l'activité-densité et l'équitabilité est quasiment parfaite avec un indice à 0.97. En août, les indices chutent avec l'augmentation de l'activité-densité.

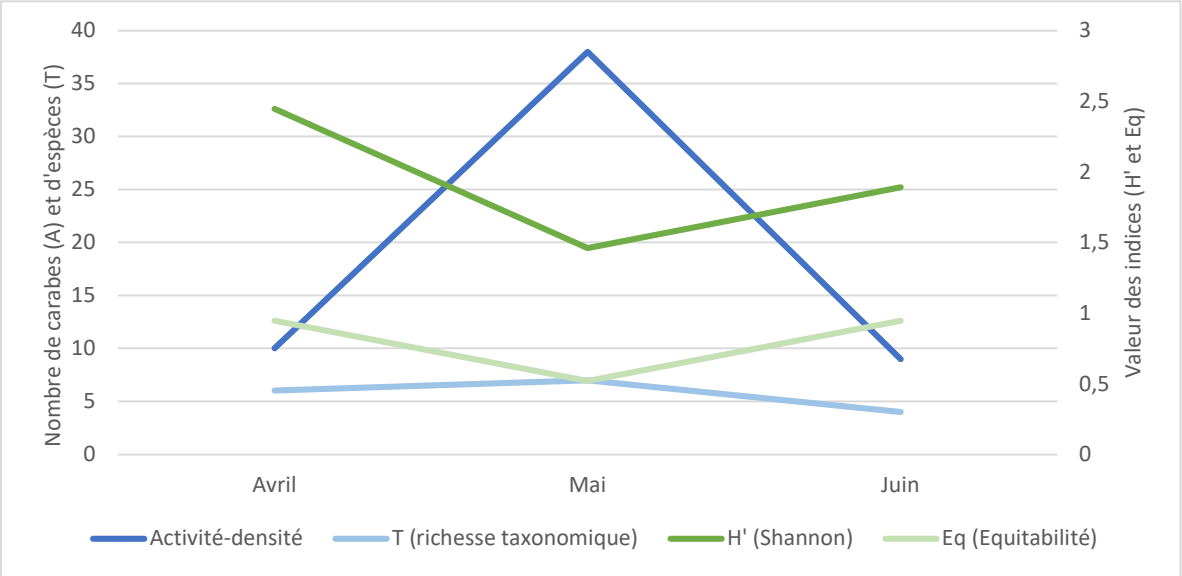


Graphique 25: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Ste Baume - Prairie en juin

La richesse taxonomique est plus grande dans la ligne d'arbres avec 4 espèces bien que dans cette modalité regorge le moins de carabes (graphique 25). Dans l'élément paysager et le milieu de l'inter-rang, il y a 3 espèces. Dans l'élément paysager l'inde d'équitabilité montre une moins bonne répartition entre les espèces que dans les autres modalités.

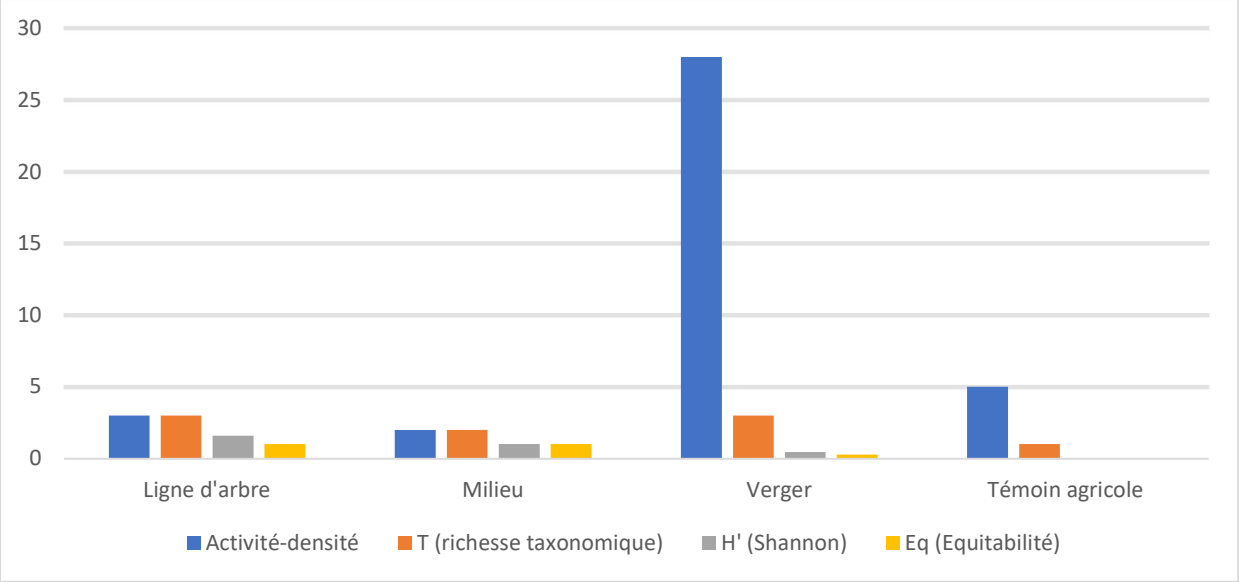
En mai et juillet les richesses taxonomiques sont similaires pour toutes les modalités : entre 2 et 3 espèces. Mais en août, c'est encore sur la ligne d'arbres que la richesse taxonomique est plus élevé avec 4 espèces présentes, contrairement à 1 et 2 espèces sur le milieu de l'inter-rang et l'élément paysager.

Beaurecueil – Amandiers



Graphique 26: Indices de biodiversité selon la saisonnalité sur la parcelle Beaurecueil - A

Pour la parcelle « Beaurecueil – Amandiers », la richesse taxonomique est à son maximum en mai, tout comme l'activité-densité, avec 7 espèces de carabes retrouvées sur la parcelle. Les indices sont plus faibles en mai, dû à la forte présence de carabes non répartis équitablement par espèces. Ici, une comparaison est envisageable car l'activité-densité d'avril est la même qu'en juin :la diversité en avril est meilleure selon l'indice de Shannon qui est plus élevé. La richesse taxonomique étant légèrement plus basse en juin, l'indice de Shannon est plus faible. Toutefois l'indice d'équitabilité est le même en avril et juin.



Graphique 27: Indices de biodiversité selon les modalités sur la parcelle Beaurecueil - A en mai

Sur la parcelle Beaurecueil – A en mai, les richesses taxonomiques les plus élevées correspondent aux modalités avec une présence d'arbres : ligne d'arbres et verger malgré que la ligne d'arbres ne présente pas une forte l'activité-densité (graphique 27). C'est pourquoi son indice de Shannon est plus élevé. Dans la modalité verger, les indices de biodiversité sont très faibles : ils témoignent d'une mauvaise répartition entre espèces, avec une ou plusieurs espèces dominantes. En effet, sur les 29 carabes rencontrés dans le verger en mai, 26 appartiennent à la même espèce (*Brachinus sclopeta*), c'est pourquoi l'indice d'équitabilité vaut 0,27.

En avril et mai, les carabes étaient presque surtout présents dans les milieux arborés, avec une plus grande richesse taxonomique dans le verger quand dans la ligne d'arbres.

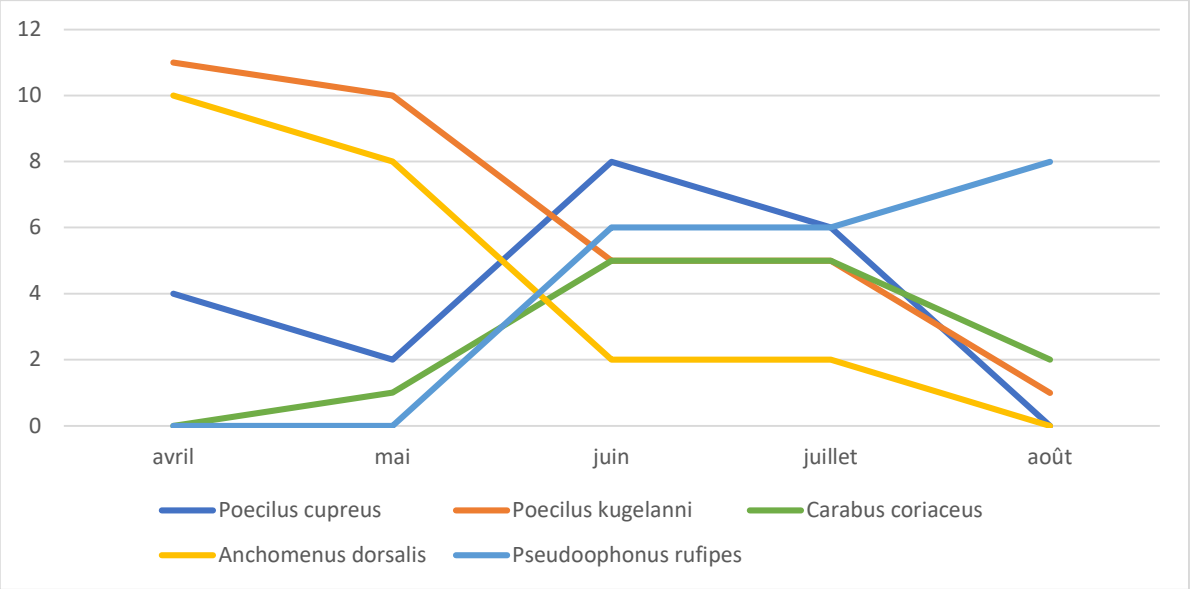
Conclusion des indices de diversité :

- quand l'activité-densité augmente, l'indice d'équitabilité tend à diminuer : plus il y a de carabes observés, plus il est difficile de rencontrer une bonne répartition entre chaque espèce, sans aucune qui prédomine.
- la diversité est plus forte en juillet qu'en août sur la parcelle de Vinon
- la diversité est plus forte en avril qu'en été sur les parcelles de Forcalquier et Beaurecueil
- l'équitabilité entre les espèce est souvent bonne sur l'ensemble des parcelles : il est rare que des espèces prédominent.
- La richesse taxonomique varie d'un mois à l'autre et d'une modalité à l'autre. Elle est plus importante dans la ligne d'arbres pour toutes les parcelles excepté celle de Vinon.

2. Espèces de carabes les plus représentées

En annexe 4 se trouvent les tableaux avec le nombre d'individus piégés par espèces.

Vinon – Semis Direct

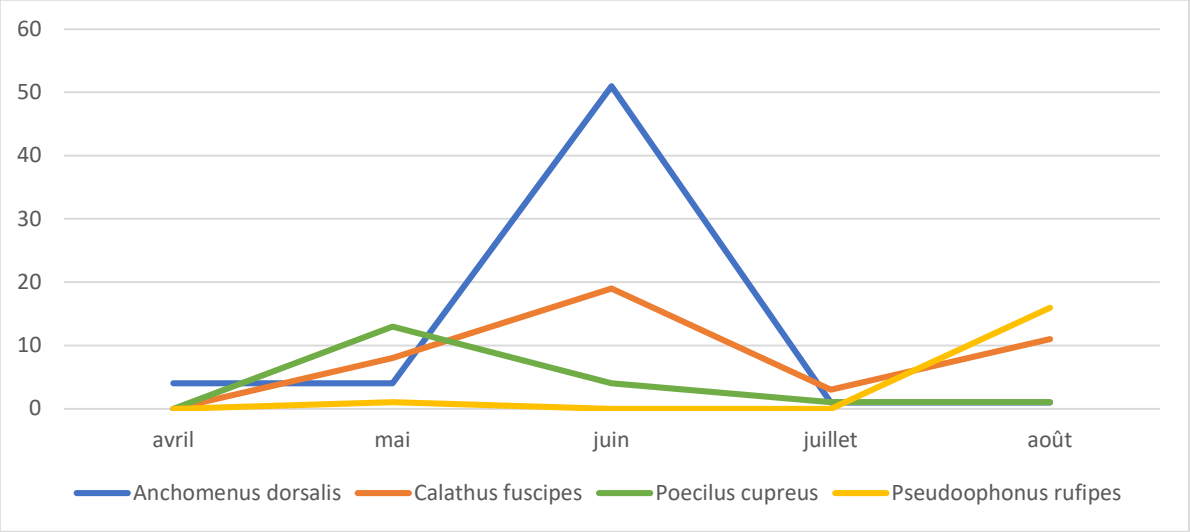


Graphique 28: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Vinon - SD" au cours de la saison

Sur ce graphique 28 sont représentées 5 espèces parmi les 11 retrouvées sur l'ensemble de la saison sur la parcelle « Vinon – Sd ». Elles représentent 87% des individus observés tout au long de la saison sur cette parcelle. Plusieurs tendances sont observées :

- une forte activité-densité dès le mois d'avril suivi d'une baisse jusqu'au mois d'août de *Poecilus kugelanni* et *Anchomenus dorsalis*
- une forte augmentation entre mai et juin pour *Pseudoophonus rufipes*, *Poeculus cupreus* et *Carabus coriaceus*
- de manière générale, l'activité-densité de toutes les espèces reste similaires entre juin et juillet excepté pour *Poeculus cupreus* qui connaît une légère baisse
- entre juillet et août, l'activité-densité de toutes les espèces diminue, excepté pour *Pseudoophonus rufipes*

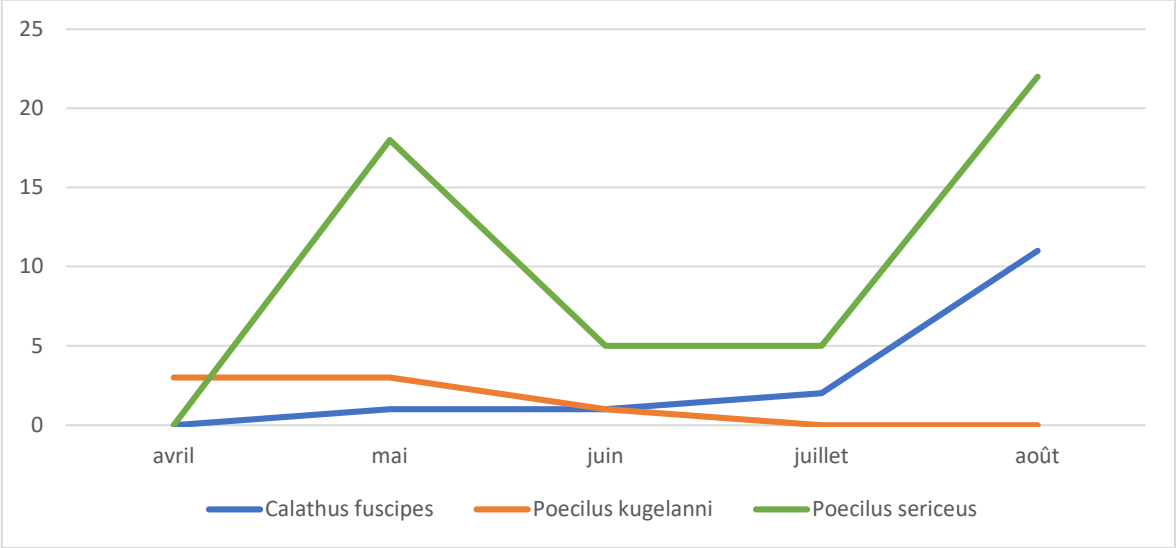
Valensole – Bois d'œuvre



Graphique 29: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Valensole - BO" au cours de la saison

Sur ce graphique 29, 4 espèces parmi les 16 observées sont représentés, elles correspondent à 84% des individus observés sur la parcelle « Valensole – Bo ». Contrairement au graphique précédant sur la parcelle de Vinon, aucune espèce ne suit la même tendance. *Anchomenus dorsalis* est faiblement présent en avril et mai, puis son activité-densité est multipliée par plus de 12 en juin. Néanmoins, cette densité est fortement dû à la modalité élément paysager ou 50 individus de cette espèce ont été retrouvé en juin. Ensuite, *Anchomenus dorsalis* disparaît complètement. . L'activité-densité de *Poecilus cupreus* est au maximum au mois de mai, elle diminue tout le reste de la saison sans pour autant être nulle. *Calathus fuscipes* est présent à partir de mai, en juin son activité-densité est multipliée par 2. Comme pour toutes les espèces, son activité-densité diminue en juillet. *Pseudoophonus rufipes* est quasiment absent entre avril et juillet (seule un individus est capturé), en août 16 individus sont capturés.

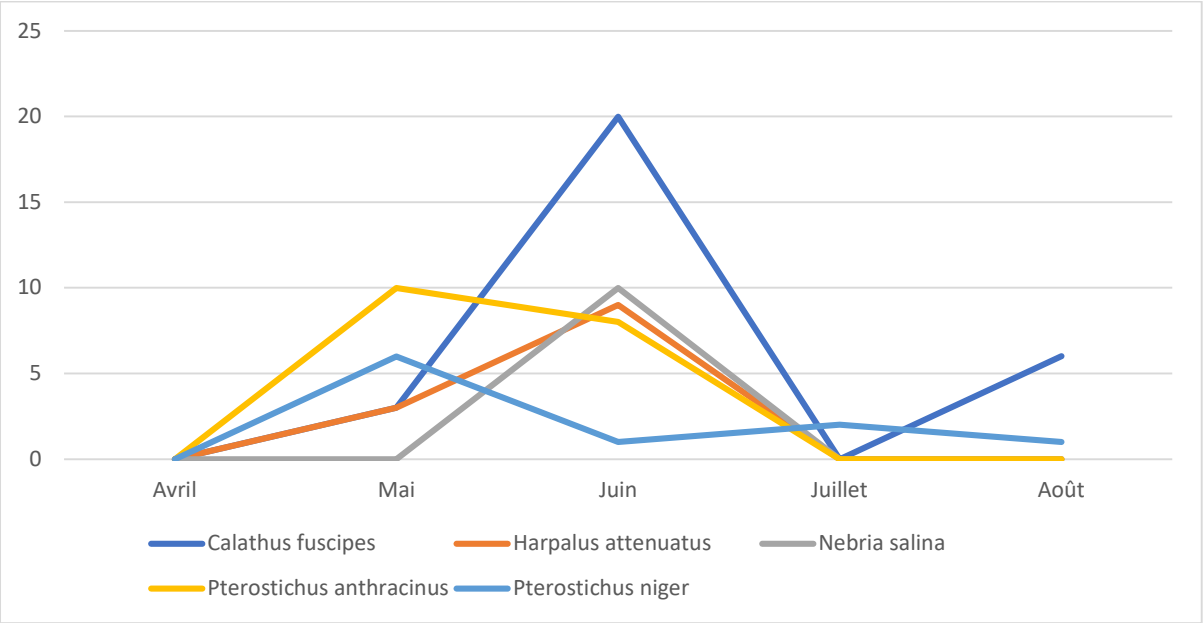
Forcalquier - Sainfoin



Graphique 30: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Forcalquier - Sf" au cours de la saison

Le graphique 30 présente les espèces principales retrouvées sur la parcelle « Forcalquier - Sf ». Ces 3 espèces représentent 76% des individus observés, parmi les 15 présentes sur la parcelle tout au long de la saison. En avril et parmi ces trois espèces, seul *Poecilus kugelanni* est présent sur la parcelle avec 3 individus, tout comme en mai. En juin il ne restera qu'un individu pour ensuite disparaître complètement. Au contraire, *Calathus fuscipes* voit son activité-densité augmenter tout au long de la saison. *Poecilus sericeus* est l'espèce la plus présente sur la parcelle. En mai et août, l'activité-densité est très élevée mais en juin et juillet elle connaît une diminution. Cette parcelle est la seule qui a des niveaux d'activité-densité les plus élevés en août pour la plupart de ses espèces.

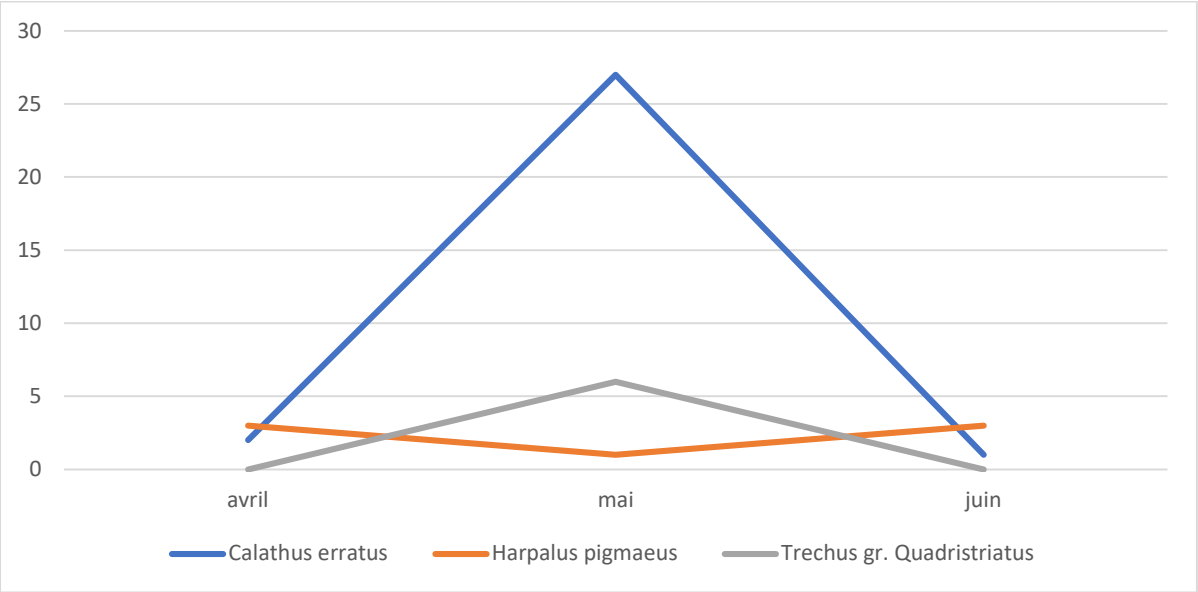
Sainte Baume – Prairie



Graphique 31: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Ste Baume - P" au cours de la saison

Le graphique 31 présente les espèces principales retrouvées sur la parcelle « Sainte Baume – P ». Ces 5 espèces représentent 82% des individus capturés entre avril et août. Seul un carabe était présent en avril et n'appartient à aucune de ces espèces (*Pterostichus cristatus*). *Pterostichus anthracinus* n'est présent qu'en mai et juin et *Nebria salina* qu'en juin. *Pterostichus niger* est présent de mai à août, c'est la seule espèce qui ne disparaît pas en juillet. *Calathus fuscipes* est l'espèce qui détient l'activité-densité la plus forte en juin, c'est également la seule espèce à connaître une nouvelle croissance entre juillet et août.

Beaurecueil – Amandiers



Graphique 32: Nombre de carabes piégés par espèces les plus représentées sur la parcelle "Beaurecueil - Amandiers" au cours de la saison

3 espèces regroupent 75% des 57 carabes piégés sur la parcelle « Beaurecueil – A ». *Calathus erratus* et *Harpalus pigmaeus* sont présents entre avril et juin. Toutefois, quand *Calathus erratus* voit son activité-densité augmenter en juin, *Harpalus pigmaeus* voit la sienne diminuer. Cependant, ces fluctuations ne se font pas à la même échelle : entre avril et mai, l'activité-densité de *Calathus erratus* est multiplié par 13, celle *d'Harpalus* est divisée par 3. L'espèce du genre *Trechus* est présente seulement en mai avec 6 carabes piégés.

Conclusion sur les principales espèces de carabes rencontrées :

- Sur les parcelles de Valensole et de Beaurecueil, 3 espèces représentent 75% des carabes piégés
- Sur les trois autres, 4 ou 5 espèces représentent plus de 80% des carabes piégés
- Excepté *Poecilus kugelanni* qui est retrouvé de mai à août sur la parcelle de Vinon, toutes les autres espèces sont présentes soit au début, soit à la fin de la saison de piégeage.
- *Anchomenus dorsalis* et *Poecilus cupreus* sont présents d'avril à juillet
- *Calathus fuscipes* est présent à partir de mai et *Pseudoophonus rufipes* à partir de juin

VI. Discussion

A. Discussion des résultats

1. Discussion de la saisonnalité

Pour rappel, une des hypothèse de cette étude portait sur la saisonnalité : « L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est variable selon la saisonnalité. Cette dernière influe également sur la diversité des espèces de carabes. »

Les activité-densité des carabes, staphylins et araignées n'ont effectivement pas les mêmes tendances dans le temps. Sur chaque parcelle, l'augmentation de l'activité des carabes entre avril et juin est directement lié à leur cycle de vie, les carabes émergeant au printemps (Garcin, Picault & Ricard, 2011; CarabAgri, 2015a; CIVAM Oasis, 2017). Sur toutes les parcelles, les carabes connaissent une diminution de leur activité-densité en juillet. Pour celle de Forcalquier, c'est dès le mois de juin. Ceci pourrait être expliqué par les fortes chaleurs du mois de juillet qui ont entrainé une mise en dormance des populations de carabes (annexe 6). Toutefois, dès le mois d'août, les populations de carabes augmentent de nouveau, ce qui laisse penser que la diminution du mois de juillet pourrait plutôt être engendrée par une perturbation des parcelles par les récoltes. De plus, pour la parcelle « Forcalquier -Sainfoin » sur laquelle le sainfoin a été récolté en juin, soit un mois plus tôt que les autres parcelles, cette diminution est également observée un mois plus tôt.

Cependant d'autres arguments peuvent contredire ces derniers. Comme le fait que les milieux non cultivés étudiés, à savoir les lignes d'arbres et les bordures de parcelles (éléments paysagers), connaissent aussi cette même diminution bien qu'ils n'aient pas été directement perturbés par les récoltes. De plus, sur la parcelle de Valensole – BO dont les lignes d'arbres ont été débroussaillées en juin, les populations de carabe et d'araignées sont plus nombreuses après l'entretien des lignes. Or, cette pratique a plus ou moins le même niveau de perturbation sur la parcelle. Il s'agirait donc des variations liées au climat qui causeraient cette perte telles que l'augmentation des températures et la diminution de la pluviométrie, ce qui est référencé dans la bibliographie (Waligora, 2005; Saussure, 2010). Les graphiques présentés en annexe n°6, montrent que le mois de juillet est le mois avec les températures les plus élevées et la pluviométrie la plus faible pour la plupart des parcelles. Seules Vinon – Sd et Valensole – Bo voient leur pluviométrie augmenter par rapport au mois de juin. Pourtant, l'activité-densité des carabes et des araignées est la plus forte durant ce mois-ci. Les températures restent stables entre juillet et août. L'augmentation de l'activité-densité entre ces deux périodes peut difficilement être expliquées par ce facteur. Cependant, la pluviométrie augmente pour les parcelles Ste Baume – P et Beaurecueil – A, ce qui pourrait favoriser l'activité-densité des carabes, sensible à la sécheresse.

Les araignées semblent être moins sensibles à la perturbation du milieu par ces deux facteurs (récoltes ou climat) puisqu'aucune diminution de leur activité n'est observée entre juin et juillet excepté pour la parcelle de Valensole.

Quant à la diversité des espèces, elle fluctue également durant la saison : des espèces font leur apparition qu'à partir du mois de juin tandis que d'autres sont présentes qu'en début de saison. Ceci est directement lié au cycle de vie des carabes. En effet, il existe deux saisons de reproduction des carabes : l'une au printemps, l'autre à l'automne (CarabAgri, 2015a; Tosser, 2020). Les carabes ayant leur période de reproduction à l'automne font leur apparition seulement au cours de l'été, comme c'est le cas de *Pseudoophonus rufipes* (Tosser, 2020) .

Les résultats ainsi que ces éléments de discussion, permettent d'affirmer que la saisonnalité a bien un impact sur les populations d'auxiliaires étudiés. L'hypothèse 2 est alors vérifiée. Toutefois, il faut rester vigilant sur l'interprétation, puisque d'un suivi à l'autre il peut être difficile de savoir si c'est le climat qui engendre les fluctuations ou bien les perturbations qui ont eu lieu sur le milieu.

2. Discussion des modalités

Pour rappel, l'hypothèse portant sur les modalités était la suivante : « L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est variable selon l'emplacement dans les parcelles. La diversité en espèces de carabes varie également selon ces paramètres. »

Comme décrit dans la partie des résultats, il existe différentes activité-densité des auxiliaires et différentes espèces de carabes selon les modalités. L'origine de ces différences peut être discutée. En annexe 7, 8 et 9, sont présentées des graphiques de type camembert afin de mettre en évidence les différentes proportions d'auxiliaires par modalité pour chacune des parcelles.

Il semblerait que les carabes soient plus sensibles que les araignées à la présence des lignes d'arbres et leur bande de végétation puisque les deux parcelles présentant un témoin agricole (Vinon – Sd et Beaurecueil – A), montrent que la proportion d'araignées dans ce témoin agricole est plus importante que celle des carabes (annexe 7 et 8).

Cependant, pour la parcelle Forcalquier -Sf, la proportion des araignées et carabes entre les deux modalités (lignes d'arbres et élément paysager) est inversée : 70% des carabes se retrouvent dans les lignes d'arbres (donc dans la parcelle) alors que 74% des araignées sont dans l'élément paysager (le reste dans les lignes d'arbres). Par ailleurs, les deux espèces de carabes principales retrouvées sont *Calathus fuscipes* et *Poecilus sericeus.* Ils sont tous les deux inféodés aux milieux ouvert et cultivés, c'est pourquoi les carabes sont majoritairement retrouvés dans la modalité ligne d'arbres dans cette parcelle, cette modalité étant la seule intraparcellaire dans ce cas. La petite taille des arbres, par leur jeune âge, permet de considérer que ce milieu reste ouvert.

Sur la parcelle Ste Baume – P, l'activité-densité des carabes et des araignées sur la ligne d'arbres est similaire à celle du milieu de l'inter-rang. Les richesses taxonomiques des carabes

le sont aussi. C'est la seule parcelle ou il y a de telles similitudes entre ces deux modalités. Cela est vraisemblablement lié à la distance les lignes d'arbres. Cet espacement étant relativement faible (16 mètres), cela engendrerait une facilité de déplacements pour les auxiliaires et donc une présence plus homogène sur la parcelle. Par ailleurs, la culture en place sur cette parcelle est une prairie permanente. Le type de milieu entre la ligne d'arbre et sa bande de végétation ainsi que l'allée cultivée est alors très similaire.

L'activité-densité des auxiliaires étudiés au sein de chaque modalité est variable selon la saisonnalité. En effet, selon les suivis, les carabes, araignées et staphylins n'occupent pas les mêmes emplacements dans les parcelles. Dans la parcelle de « Vinon – Sd » par exemple, l'activité-densité des carabes dans la ligne d'arbres est la seule qui continue d'augmenter entre juin et août alors que les autres modalités diminuent, ce qui pourrait s'expliquer par un déplacement des carabes de l'allée cultivé vers la ligne d'arbres, après la moisson. Dans la parcelle 'Valensole - Bo », les modalités connaissent les mêmes activités au long de la saison excepté au mois de juin ou les écarts se creusent. Ceci pourrait être expliqué par le changement brutal des conditions climatiques entre mai et juin (annexe 6) : la pluviométrie est divisée par 3 et la température maximale moyenne augmente de 10 degrés. L'élément paysager est donc la modalité présentant l'activité-densité en carabe la plus élevée, cette bordure de ripisylve offrant un habitat plus frais à la biodiversité.

La diversité en espèces de carabes est également variable selon les modalités : pour toutes les parcelles, la richesse taxonomique est plus élevée dans la ligne d'arbre. Cela signifie que ce type de milieu conviendrait à plus d'espèces de carabes. Sur la parcelle Vinon - Sd, 12 espèces de carabes sont retrouvées dans la ligne d'arbres contre seulement 5 dans le témoin agricole entre avril et août (annexes 4 et 9). L'espèce la plus représentée dans la ligne d'arbres est *Pseudoophonus rufipes,* cependant elle est inféodée au milieux ouvert (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010). *Anchomenus dorsalis* est l'espèce la plus retrouvée dans le témoin agricole qui quant à elle, est inféodée aux milieux pertrubés et ouverts (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010; Garcin *et al.*, 2011). De même pour la parcelle « Beaurecueil – A » ou 7 espèces sont retrouvées dans la ligne d'arbre contre seulement 3 dans le témoin agricole.

Tous ces éléments nous permettent de vérifier l'hypothèse 1 : l'activité-densité des auxiliaires et la diversité des carabes est vraisemblablement variable selon l'emplacement des parcelles, vérifié par les différentes modalités.

3. Discussion des différentes pratiques agricoles et de l'environnement paysager

Des différences d'activités-densité des populations étudiées sont observées selon les parcelles. Différentes espèces de carabes sont également retrouvées. Ces différences peuvent être dues à deux facteurs principaux : les différents itinéraires techniques appliqués et l'environnement paysager autour des parcelles. Il est difficile de savoir lequel de ces deux facteurs permet réellement d'expliquer de telles différences entre les parcelles. Dans cette partie, il s'agit donc de discuter de ces deux facteurs, sans essayer de comprendre lequel des deux a le plus d'impact sur les auxiliaires étudiés.

Pour rappel, l'objectif de cette étude n'est pas de comparer les parcelles entre elles. Toutefois, afin de discuter des différentes pratiques agricoles appliquées, il est pertinent de confronter les parcelles entre elles afin d'essayer de comprendre l'impact de ces pratiques sur les populations d'auxiliaires étudiés.

Les itinéraires techniques appliquées sur ces cinq parcelles sont bien distincts (cf Tableau 2), et les pratiques agricoles ne sont également pas les mêmes.

- Travail du sol

Seules les parcelles Vinon -Sd et Ste Baume – P ne connaissent aucun travail du sol, l'une étant en semis direct sous couvert et l'autre une praire permanente. Pourtant, ce n'est pas sur ces deux parcelles que les auxiliaires étudiés ont la plus forte activité. Toutefois, la parcelle « Ste Baume – P » connaît la plus grande diversité d'espèces de carabes, ce qui peut s'expliquer par l'absence de travail du sol mais également par la richesse de diversité que propose cette prairie permanente. Le sol de « Forcalquier – Sf » n'a pas été travaillé depuis l'implantation du sainfoin soit depuis 3 ans, pourtant l'activité-densité des carabes et des araignées sur cette parcelle reste toujours plus faible que les autres excepté au mois d'août ou l'activité des carabes est la plus importante. Sur la parcelle « Valensole – Bo » sur laquelle a été appliqué un passage de déchaumeur à disque en octobre dernier est retrouvé la plus forte activité et diversité de carabes. C'est dans cette parcelle qu'on retrouve le plus d'araignées par pot. Il semblerait donc que cette pratique ne perturbe pas suffisamment le milieu au point de baisser l'activité de ces deux populations.

Selon la bibliographie, les gros carabes sont plus affectés par le travail du sol (Hanson *et al.*, 2016) et se retrouvent en plus grande quantité dans les milieux non perturbés (Eyre, Luff & Leifert, 2013). *Carabus coriaceus*, le plus gros carabe observé dans cette étude 2021 (~4cm), se retrouve dans les parcelles de Vinon – Semis Direct, Valensole – Bois d'Oeuvre, et Forcalquier – Sainfoin, dans toutes les modalités. La parcelle de Vinon ne connaît aucun travail du sol, ce qui expliquerait la présence de ce carabe. Sur celle de Valensole est pratiqué un travail du sol très superficiel (déchaumeur à disque). Enfin, sur la parcelle de Forcalquier pour laquelle un labour est fait tous les 3 ans, seul un individu à été observé dans l'élément paysager en bordure de la parcelle. Ces données sont vérifiées par la bibliographie qui précise que dans

le sud de la France, le *Carabus coriaceus* se retrouve dans les milieux ouverts et en lisière de forêts (Garcin *et al.*, 2011). De même pour *Pterostichus niger,* un autre gros carabe (>17mm), dont 10 des 12 individus se retrouvent dans la prairie de la Sainte Baume, les deux autres sur la ligne d'arbres de la parcelle de Valensole. Ces deux milieux ne connaissent aucune perturbation liée à un travail du sol. Les petits carabes du genre *Trechus* par exemple se retrouvent plus sur les milieux ouverts et donc cultivés. En effet sur les 8 individus appartenant au genre *Trechus* capturés sur la saison, 7 ont été retrouvé dans les milieux cultivés (à 10 mètres de la ligne d'arbres et entre deux lignes).

- Espacement entre les lignes d'arbres

Il s'agit ici de comparer la proportion d'auxiliaires présents dans les modalités « milieu de l'inter-rang » et « ligne d'arbres » afin de voir si l'activité-densité des populations ainsi que la diversité des espèces de carabes sont corrélées à l'espacement entre les lignes d'arbres. Pour cela des graphiques sont représentés en annexes 9 et 10. Le plus grand espacement entre les lignes d'arbres parmi les cinq parcelles est de 72 mètres sur la parcelle « Vinon- Sd ». Dans cette parcelle, 33% des carabes et 43% des araignées se retrouvent dans la modalité « milieu de l'inter-rang » sur l'ensemble de la saison. Sur la parcelle « Ste Baume – BO » où l'espacement est de 16 mètres, 60% des carabes et 51% des araignées se retrouvent dans le milieu de l'inter-rang. Ceci laisse à penser que plus l'espacement entre les lignes d'arbres est moindre, plus la présence d'auxiliaires est homogène au sein de la parcelle, assurant ainsi une meilleure lutte biologique dans la cuture de céréales. Toutefois, « Beaurecueil- A » a la plus faible proportion de carabes et araignées présents au milieu de l'interligne bien que l'espacement entre les lignes d'arbres soit seulement de 25 mètres. D'autres paramètres sont donc susceptibles de contredire cette supposition. Les lignes d'arbres étant régulièrement arrosées, il se peut que les auxiliaires aient trop souffert de la sécheresse sur le milieu de l'inter-rang de cette parcelle et aient privilégier la ligne d'arbre malgré le faible espacement entre les lignes.

- Taille de la parcelle :

La taille de la parcelle est un facteur déterminant pour la présence intra-parcellaire des auxiliaires. Selon une étude, les parcelles de moins de 10ha sont plus favorables à la présence d'auxiliaires ainsi qu'à leur déplacement et les parcelles entre 10 et 15ha le sont de manières plus aléatoires, selon l'environnement paysager et les espèces suivies (Chambre d'argiculture centre et complémentarité). Avec ses 11ha, seule la parcelle « Vinon – Sd » appartient à cette dernière catégorie. Cette parcelle est celle qui compte le moins de carabes piégés par pot durant toute la saison. La taille de la parcelle pourrait donc bien être déterminante pour l'activité-densité des carabes, bien que cette dernière soit cultivée en semis direct sous couvert depuis 10 ans et subissent donc assez peu de perturbation du sol.

- Irrigation

Les lignes arbres étant récemment plantés, elles sont toutes irriguées durant la saison estivale ce qui peut constituer un biais à l'étude. En effet, il est difficile de savoir si les auxiliaires sont présents dans les lignes d'arbres parce qu'elles constituent un milieu non perturbé et diversifié (par la présence de la bande enherbée) ou bien parce qu'elles leur offrent de l'humidité. Seule la culture de Vinon – Sd est irriguée mais cette parcelle ne présente pas particulièrement une activité élevée en carabe et araignée, ni une richesse taxonomique en carabe élevé. L'irrigation ne serait donc pas un facteur déterminant pour le bon développement des populations de carabes et d'araignées. Par ailleurs, c'est sur cette même parcelle d'openfield qu'on retrouve le moins d'espèce de carabes (seulement 11 sur toutes la saison, cf Annexe 4). Ceci laisse à penser que l'environnement paysager joue un rôle crucial sur la richesse taxonomique des carabes. Cette famille aurait besoin de milieu arboré pour que plus d'espèces soient représentées.

- Environnement paysager

Les auxiliaires étudiés sont sensibles au milieu dans lequel ils vivent. Certaines espèces de carabes sont inféodées à des milieux spécifiques. La modalité « élément paysager » sert à étudier les populations d'auxiliaires dans un environnement fermé, en bordure de parcelle. En annexe 12 sont présentées les espèces observées pour les quatre parcelles disposant de la modalité « élément paysager ». Les espèces de carabes observées sont très hétérogènes selon les parcelles, bien qu'elles se retrouvent toutes dans un milieu fermé et arboré. Seuls *Calathus fuscipes* et *Anchomenus dorsalis* sont retrouvés dans 2 parcelles, pour les autres espèces, elles sont propres à chaque parcelle. L'environnement paysager étant distinct pour toutes les parcelles, il est normal de constater différentes espèces selon les parcelles.

4. Focus sur les principaux carabes de l'étude

Dans cette étude 2021, quatre espèces de carabes dominantes ont été observées sur presque toutes les parcelles. Elles méritent donc de se pencher sur leurs caractéristiques.

Calathus fuscipes

Photo 1: Calathus fuscipes (Source: G. Bouger (CNRS-Ecobio) et J.L. Roger (INRA-Sad Paysage))

Calathus fuscipes est l'espèce la plus rencontrée dans cette étude. 95 individus ont été capturés sur l'ensemble des parcelles et des suivis, exceptée celle de Beaurecueil où elle est absente. Pour les 4 autres parcelles elle est présente dès le mois de mai jusqu'en juillet pour Valensole - Bo et jusqu'en août pour les autres. Sur la parcelle de Valensole – Bo, cette espèce est présente dans la ligne d'arbres et l'élément paysager : sur 41 individus piégés, seulement un se retrouve dans la zone de culture au milieu de l'inter-rang. Leur présence est plus homogène sur la parcelle agroforestière de Vinon – Sd puisqu'ils se retrouvent sur toutes les modalités dans des proportions similaires. Toutefois, aucun *Calathus fuscipes* est présent dans le témoin agricole. Dans les parcelles Ste Baume - P et Forcalquier – Sf, ils sont présents dans toutes les modalités. Autour de ces parcelles, il y a une forte présence d'arbres, et sur la parcelle de Forcalquier, 67% se retrouvent dans l'élément paysager arboré (le reste dans les lignes d'arbres). Ces observations tendent à supposer que cette espèce aurait besoin d'un milieu arboré à proximité de son lieu de vie, sans quoi, elle serait absente.

Cependant, selon la bibliographie, cette espèce se retrouve essentiellement dans les milieux ouverts et secs (Garcin *et al.*, 2011; CIVAM Oasis, 2017). Cette étude 2021 montre plutôt qu'elle est présente dans les milieux arborés donc fermés. Selon le CTIFL, c'est une espèce dominante dans beaucoup de vergers du Sud-Est de la France (Garcin *et al.*, 2011), ce qui confirmerait que cette espèce nécessite d'un milieu arboré pour se développer, du moins dans un contexte méditerranéen.

Calathus fuscipes est une espèce zoophage, consommant notamment les ravageurs des cultures comme les limaces, (Bonadona, 1971; Garcin *et al.*, 2011) d'où son intérêt sur les parcelles,

les limaces étant particulièrement impactantes dans la parcelle menée en semis direct par exemple.

Anchomenus dorsalis

Photo 2: Anchomenus dorsalis (Source : RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010)

Sur toutes les parcelles entre avril et août 2021, 92 *Anchomenus dorsalis* ont été piégés. Ils sont surtout présents dans les parcelle de Vinon SD et de Valensole -Bo. Ces deux parcelles sont les seules dont les cultures sont irriguées ce qui supposerait que cette espèce se plaît davantage dans les milieux pas excessivement secs. Toutefois, selon la bibliographie, cette espèce de petite taille se retrouve dans les milieux secs, chauds et lumineux (Hamon, 2009; Garcin *et al.*, 2011). Leur présence fluctue tout au long de la saison : ils sont 17 en avril, 53 en juin et seulement 1 en août. Sur la parcelle de Vinon – SD, ils sont surtout présents dans le témoin agricole avec 12 individus piégés sur 22. Cependant, dans la parcelle de Valensole, 50 individus étaient présents dans l'élément paysager (sur 61). Ceci tend à supposer que cette espèce s'adapte à plusieurs milieux, ouverts comme fermés, cultivés où non.

Selon la bibliographie, cette espèce serait en régression et de moins en moins observée en France (Hamon, 2009), bien qu'elle serait peu sensible aux différentes pratiques agricole (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010). Cependant, les *Anchomenus dorsalis* étaient représentés en plus grand nombre sur les parcelles en 2021 qu'en 2020 (Fayet, 2020). D'autre part, l'étude 2020 constate que cette espèce se retrouve seulement dans le témoin agricole (milieu ouvert), alors qu'en 2021 elle est aussi présente dans les milieux arborés fermés.

Anchomenus dorsalis, malgré sa petite taille, est une espèce bénéfique pour les cultures du fait de son régime alimentaire polyphage, par conséquent très varié. Ces carabes se nourrissent de pucerons, mais aussi d'œufs de coléoptères, de diptères (comme la mouche du chou) et de lépidoptères comme la pyrale du maïs (Garcin *et al.*, 2011).

Poecilus sericeus

Photo 3: Poecilus sericeus (Source : RMT Biodiversité fonctionnelle)

Excepté un individu retrouvé sur la ligne d'arbres dans la parcelle de Vinon – SD, les 50 autres *Poecilus sericeus* se retrouvent seulement dans la parcelle de Forcalquier -Sf. Pour rappel, deux lignes d'arbres ainsi que l'élément paysager étaient étudiés dans cette parcelle de sainfoin qui connaît très peu de perturbations depuis 2 ans, hormis les fauches. Or, tous les individus se retrouvent dans les lignes d'arbres intra-parcellaires et non dans l'élément paysager. Cette espèce serait donc spécifique à ce type de milieu ouvert non perturbé. Selon la bibliographie, elle est effectivement retrouvée en plus grande quantité dans les milieux cultivés qu'en bordure de parcelle ou dans les milieux naturels (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010).

Concernant la saisonnalité, elle est présente sur la parcelle de mai à août avec une diminution de son activité-densité en juillet et août (cf graphique 30). Selon la bibliographie, cette espèce est amenée à disparaître en juillet et août alors que dans cette étude sa présence diminue seulement (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010). Il est difficile de savoir si c'est réellement la ligne d'arbres qui a un tel impact sur cette espèce, lui permettant d'être toujours active à cette période.

Poecilus sericeus a un régime carnassier et l'adulte consomme des ravageurs de plusieurs ordres : diptères, homoptères (pucerons), coléoptères (charançons), collemboles et mollusques. Il peut également se nourrir des œufs de mollusque (escargots et limaces) (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010).

Poecilus kugelanni

Photo 4 : Poecilus kugelanni (Source : G. Bouger (CNRS-Ecobio) et J.L. Roger (INRA-Sad Paysage))

Cette espèce est présente sur les parcelles de Vinon – SD, Valensole -BO et Forcalquier -Sf. 29 des 39 individus capturés entre avril et août se trouvaient sur la parcelle de Vinon -SD. Sur cette même parcelle, elle est présente surtout dans les zones cultivées entre avril et août. Cependant, son activité-densité diminue tout au long de la saison (cf graphique 28).

Dans la bibliographie, il existe très peu d'information concernant le type d'habitat et le régime alimentaire de cette espèce. Mais elle serait surtout présente dans les milieux ouverts (Zagatti *et al.*, 2020).

Selon l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN, 2021), *Poecilus kugelanni* est une espèce protégée. Elle est aussi une espèce déterminante pour les ZNIEFF, c'est-à-dire qu'elle est considérée comme remarquable pour la biodiversité. Pour qu'une espèce soit dite « déterminante » il existe deux critères : la rareté de l'espèce ou le degré de menace. Le critère pour cette espèce n'est pas précisé.

Sur la parcelle de Vinon – SD en juin et juillet, aucun individu de cette espèce est observé dans le témoin agricole, contrairement aux autres mois. Cela signifierait que lors des fortes chaleurs, le *Poecilus kugelanni* aurait besoin de se retrouver dans des milieux abrités.

D'autre part, *Nebria* (*brevicolli* et *sallina*) est un genre de petits carabes, où les 39 individus observés se retrouvent tous en bordure de la parcelle de la Sainte Baume, dans la forêt éponyme, ce qui supposerait que ce genre est caractéristique de ce type de milieu. D'autre part, sur les 5

individus observés du genre *Amara* (de petite taille également), tous étaient présents dans les lignes d'arbres dans les parcelles de Forcalquier, Sainte Baume et Beaurecueil. Ce genre de carabes a été capturé sur les parcelles seulement au printemps, en avril et mai. Cela pourrait expliquer pourquoi ils n'ont pas été observé en 2020, les suivis n'ayant débuté qu'en juin.

En conclusion, toutes ces espèces de carabes présentées ci-dessus ont des régimes alimentaires différents et occupent des milieux qui leur sont propres. Cela souligne leur complémentarité, d'où l'importance d'avoir une activité-densité élevée sans négliger l'importance d'une bonne diversité en espèces de carabe à l'échelle des parcelles.

5. Comparaison des résultats avec l'étude 2020

Comparer les résultats de l'étude 2021 avec celle de l'année précédente est pertinent afin de mettre en lumière l'évolution de l'activité des auxiliaires au sein des parcelles, d'une année à l'autre, d'autant que les résultats de suivis dédiés à la biodiversité dans d'autres programmes de suivi montrent des résultats très différents d'une année à l'autre (RMT Biodiversité fonctionnelle, 2010). Cela renforce le besoin de reproduire ces dispositifs plusieurs années. Toutefois il faut être vigilant, puisque l'étude 2020 ne met pas en évidence la saisonnalité. Malgré les deux suivis réalisés en juin et août, ceux-ci sont présentés comme s'ils ne faisaient qu'un, afin d'avoir une idée de l'activité des populations rencontrées au sein de parcelles, sans prendre en compte la saisonnalité. Comme pour une grande partie de cette étude, cette comparaison sera décrite par une approche parcelle par parcelle, la comparaison entre parcelles étant trop bancale compte tenu du faible nombre d'échantillon et des différences entre elles. Ce critère de suivi tient plus compte de la diversité des parcelles rencontrées et donc de l'hétérogénéité des observations que de la volonté de comparer les parcelles entre elles.

<u>Vinon</u>

En 2020, l'activité-densité des araignées est similaire sur la ligne d'arbres et dans la parcelle témoin. En avril et mai 2021, l'activité-densité des araignées est effectivement similaire entre la ligne d'arbres et le témoin mais à partir du moins de juin, l'activité-densité est plus élevée dans la ligne d'arbres (avec une différence significative en juin) et ce, jusqu'en août.

Les staphylins sont très peu présents voire absents en 2020, comme en 2021 : moins de 1 staphylin par relevé en moyenne en juin 2021 tout en étant le mois où ils sont le plus nombreux.

L'activité-densité et la richesse taxonomique en carabe sont plus importants sur la ligne d'arbres que sur la parcelle témoin en 2020. La grande majorité des espèces de carabes est inféodée aux milieux ouverts. En 2021, l'activité-densité des carabes est effectivement plus importante dans la ligne d'arbres à partir du mois de juin, cependant les deux premiers suivis d'avril et mai révèlent une tendance inverse avec une plus grande activité-densité dans le témoin. Quant à la richesse taxonomique, elle est toujours plus élevée dans la ligne d'arbres également.

Valensole

Tout comme en 2021, cette parcelle ne disposait pas de témoin agricole en 2020, le milieu de l'inter-rang a donc été étudié. Cette même année, dans la parcelle de Valensole, une différence significative de l'activité-densité en araignée était remarquée : l'activité-densité dans la ligne d'arbres est 6 fois supérieure à celle du milieu de l'inter-rang. D'avril à mai 2021, c'est le milieu de l'inter-rang qui détient la plus grande activité-densité entre ces deux modalités avec une différence significative en mai. A partir de juin jusqu'en août, c'est dans la ligne d'arbres que l'activité-densité des araignées est la plus forte, parmi toutes les autres modalités.

Une différence significative est constatée pour les staphylins entre les deux modalités de la parcelle en 2020 avec toujours plus d'individus dans la ligne d'arbres (5 fois plus). En 2021, aucune différence significative n'est révélée, mais c'est en mai que qu'est observé le plus grand écart entre la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang, avec 4 fois plus d'individus dans la ligne d'arbres.

En 2020, l'activité-densité et la richesse taxonomique sont similaires sur la ligne d'arbres et le milieu de l'inter-rang. En mai 2021, une différence significative est constatée entre ces deux mêmes modalités, l'activité-densité est plus importante sur la ligne d'arbres. La richesse taxonomique qui était similaire mais élevée sur les deux modalités est aujourd'hui plus élevé sur la ligne d'arbres. *Pseudoophonus rufipes* était le carabe le plus observé dans la ligne d'arbres, en 2021, il était plus présent dans les milieux cultivés.

Forcalquier

L'activité-densité des araignées est similaire sur la ligne d'arbres et dans la parcelle témoin en 2020. En 2021, cette parcelle n'a pas de parcelle témoin, il est donc difficile de faire les mêmes comparaisons, les modalités étant différentes. 4,5 araignées par pot en moyenne sont retrouvées en 2020 sur la ligne d'arbres, ce qui est similaire à la même moyenne de 2021 avec 3,5 araignées par pot (moyenne de toute la saison)

Les staphylins sont très peu présents voire absents en 2020 et en 2021.

L'activité-densité en carabe est plus importante dans le témoin que sur la ligne d'arbres en 2020. En 2021, elle est plus importante dans la ligne d'arbres que dans l'élément paysager. En 2020, 9 espèces sont observées sur l'ensemble de la parcelle contrairement à 15 en 2021.

Sainte Baume

En 2020, seul la modalité ligne d'arbres a été testée. C'est sur cette parcelle qu'est retrouvée l'activité-densité la plus forte en araignées et staphylins parmi toutes les autres parcelles. Ce n'est pas le cas pour 2021, puisque les parcelles de Valensole et de Vinon détiennent plus d'araignée par pot en moyenne au sein de leur ligne d'arbres. Quant aux staphylins ils sont également présents en faible quantité, comme pour toutes les parcelles.

Sur cette parcelle, les carabes avaient l'activité-densité la plus élevée, par rapport aux autres parcelles en 2020. En 2021, cette parcelle détient le plus grand nombre de carabes sur la ligne

d'arbres parmi toutes les autres lignes d'arbres avec 5,8 carabes par pot en moyenne sur l'ensemble de la saisonnalité.

Beaurecueil

En 2020, très peu de résultats ont pu être expliqués : les pots ont été détruits par les sangliers sur les deux suivis.

Par ailleurs, de nouvelles espèces de carabes ont été étudiées en 2021 grâce au suivi printanier du mois d'avril, notamment le genre *Amara* qui n'a été observé que lors du premier suivi (en avril). Il n'a pas été observé en 2020, sûrement dû à la tardiveté du premier suivi qui a eu lieu en juin.

B. Discussion de l'étude

1. Limite de l'étude

Cette étude 2021 fait l'objet de plusieurs limites. Tout d'abord, le petit échantillon de 5 parcelles ne permet pas de pouvoir les comparer entre elles, ni de les modéliser. La comparaison des parcelles entre elles nécessiterait un dispositif de parcelles expérimentales afin d'isoler les variables tels que l'environnement paysager et l'itinéraire technique des parcelles. Pour ce faire il faudrait par exemple redécouper les parcelles et y appliquer différentes pratiques. Par exemple, couper la grande parcelle de Vinon – Sd en deux afin d'avoir deux parcelles de 5ha (taille similaire aux autres), et tester une partie avec un semis direct sous couvert et une autre sans. Afin de comprendre si la différence d'activité-densité et de diversité de la Sainte-Baume est lié à la prairie ou à l'environnement paysager, la parcelle pourrait être coupée en deux avec une partie en prairie et une autre en céréales. Cependant, le déplacement des carabes s'effectue dans un rayon de 50 mètres ce qui conduirait à d'autres biais. De plus ces mises en place sont totalement inenvisageables pour les agriculteurs, il vaut donc mieux multiplier les dispositifs paysans sur plusieurs territoires ainsi que sur les fermes expérimentales afin d'élargir les connaissances.

D'autre part, il est difficile de mettre clairement en évidence les effets de ces jeunes lignes d'arbres sur les parcelles agroforestières pour deux principales raisons. Seules deux parcelles témoins permettaient une comparaison sans agroforesterie ce qui ne permet pas d'avoir suffisamment de données. Par ailleurs, les lignes d'arbre étant très jeunes, il est difficile de croire que les différences observées proviennent des arbres en eux-mêmes mais plutôt des bandes enherbées et non perturbées que constituent les lignes d'arbres.

Comme explicité dans la discussion, il n'est pas possible de vérifier si c'est l'environnement paysager des parcelles ou l'itinéraire technique qui donne une différence significative entre les parcelles. En effet, les parcelles ont toutes un environnement paysager très différents (foret de

la sainte baume, ripisylve, openfield…) mais leur itinéraire technique l'est également (semis direct, agriculture raisonnée, travail du sol ou non).

Vient ensuite le fait que pour la réalisation de cette étude, aucun entomologiste professionnel n'a vérifié les identifications des espèces de carabes réalisées par mes soins. Cela conduit à un biais lié à l'observateur : bien que les clés de détermination soient précises, il se peut que certaines espèces aient mal été identifiées.

Le pot Barber permet d'avoir une idée de la présence des populations sur la parcelle. Bien que ce soit un piège non attractif afin d'avoir le moins de biais possible, il existe tout de même plusieurs limites à ce dispositif. Tout d'abord, le nombre d'individus capturé est directement lié à leur activité, c'est pourquoi on parle « d'activité-densité ». Il est alors difficile de discerner l'une de l'autre et de savoir si une espèce est piégée parce qu'elle est présente sur la parcelle, ou bien si elle est peu représentée mais qu'elle se déplace beaucoup. En effet l'activité des carabes varie également en fonction de leur état de satiété (Fournier & Loreau, 2002) De plus la densité de la végétation peut gêner les déplacements des carabes et ainsi diminuer leur activité-densité (Honěk & Jarošík, 2013).

Selon une étude menée sur des parcelles en grandes cultures, le nombre moyen de carabes piégés par pot par semaine est de 20 individus (Martin, 2014). Cependant, une autre étude menée à Restinclières sur des parcelles agroforestières compte moins d'un carabe/pot/semaine (Hamon, 2009). Dans cette étude 2021 le nombre de carabes piégés/pot/semaine est de 2,6 en moyenne, ce qui reste assez faible. Cependant, il est délicat de construire et comparer les indices de Shannon et d'équitabilité lorsque les effectifs de piégeage sont faibles. L'indice de Shannon tend vers 0 lorsqu'une espèce est dominante. Or, les faibles rendements de piégeage ne nous permettent pas de savoir si une espèce a été abondante ou pas. De plus, les lignes d'arbres des parcelles agroforestières semblent être un milieu dans lequel la population carabique est plus équilibrée et riche mais la plupart des espèces recensées comptent très peu d'individus, ce qui permet difficilement de conclure à une meilleure biodiversité (Hamon, 2009).

Conclusion

Pour conclure, cette étude 2021 a conduit à de nouvelles observations, d'où la pertinence de reconduire cette étude pour l'année prochaine. L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est variable selon la saison avec un pic d'activité en mai et juin pour les carabes et les araignées, ce qui est dû à leur cycle de vie. Le mois de juillet connaît une baisse de l'activité-densité des carabes et araignées, ce qui serait lié aux conditions météorologiques ou à une perturbation des milieux par les récoltes. Certaines espèces de carabes font leur apparition dès le printemps, d'autre durant l'été.

L'environnement paysager et les pratiques des agriculteurs, sont également à l'origine de différences sur les activités-densités des auxiliaires. Cependant, cette étude ne permet pas de dissocier les deux effets afin de comprendre lequel a le plus d'impact sur les populations d'auxiliaires étudiés.

L'activité-densité des carabes, araignées et staphylins est également variable selon l'emplacement dans les parcelles, vérifié par les 5 modalités mises en place dans cette étude. Bien que les lignes d'arbres soient encore toute jeunes, l'étude a permis de mettre en lumière une activité-densité des auxiliaires plus forte dans les milieux arborés/non perturbés, c'est-à-dire, dans les modalités « ligne d'arbre » et « élément paysager ». De surcroit, c'est toujours dans la modalité ligne d'arbres que le plus d'espèces de carabes est observée.

La ligne d'arbres aurait donc un impact sur les populations d'auxiliaires étudiés. Cependant, au vu du jeune âge des arbres, les effets observés seraient plutôt liés aux bandes de végétation que constituent ces lignes d'arbres. En effet, du fait de la petite taille des arbres, excepté sur la parcelle de Valensole, il est difficile d'imaginer que ces arbres offrent un abri ombragé aux auxiliaires de culture. Toutefois, la bande de végétation à leur pied, offre un milieu non perturbé aux auxiliaires, entre autres sensibles au travail du sol.

Cette étude – ainsi que les références bibliographiques acquises – mettent en avant la capacité de l'agriculture à contribuer fortement à la biodiversité locale. Or, les dispositifs financiers en faveur de ces pratiques sont encore peu nombreux. Les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) et plus récemment les Paiements pour Services Environnementaux (PSE) doivent être orientés vers les pratiques agroforestières. C'est le cas récent du Label Haie, qui vise à promouvoir la bonne gestion du bocage à l'échelle d'un paysage en accompagnant les agriculteurs. A la fois outil d'animation et outil au service des PSE sur les territoires, il pourrait permettre de favoriser ces systèmes en rémunérant financièrement l'agriculteur pour le service rendu, parmi lesquels la préservation de la biodiversité peut être prise en compte, au même titre que le stockage de carbone ou la protection des sols contre l'érosion.

Pour les prochains suivis, plusieurs perspectives peuvent être avancées. Il faudrait tout d'abord stabiliser les modalités, afin de suivre les fluctuations d'une année à l'autre sur les différents emplacements des parcelles. Les parcelles témoins devraient également être suivies dans les prochaines années afin de voir si les écarts observés se creusent avec le temps. Ces prochains

suivis pourront se poursuivre notamment dans le cadre d'un nouveau « Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental » (GIEE) dont font partie les fermes suivies.

Bibliographie

AD&Méd 2021. Vergers-maraîchers : les expériences du réseau SMART. Agricultures Durables en Méditerranée. [consulté le 30 mars 2021]. http://ad-mediterranee.org/Vergers-maraichers-les-experiences

AFAC 2017. Fiche Agroforesterie et protection de sols

Allen J. 2012. Durabilité agro-environnementale et biodiversité: Indicateurs carabes et lombrics (hal-02810459f) : 22.

Alletto L. 2019. Définition générale et origines principales Principaux leviers agronomiques de lutte27.

Angers D., Chenu C., Klumpp K., Delame N., Bas C.L., Dupraz C., Fontaine S., Harmand J.-M., Gabory Y. 2013. Développer l'agroforesterie dans les parcelles cultivées et les prairies pour favoriser le stockage du carbone dans le sol et dans la biomasse végétale38.

Arbre et Paysage 32 2011. Aménagements agroforestiers et Biodiversité fonctionnelle. Projet CASDAR : «Améliorer l'efficacité agro-écologique des systèmes agroforestiers en grandes cultures»

Association Française d'Agroforesterie 2015. Agroforesterie : vers une meilleure gestion de la biodiversite

Assolari M. 2019. L'agroforesterie pour accroître la rentabilité économique en agriculture : étude de cas agrosylvicoles. Faculté des bioingénieurs,

Auximore 2014a. Les carabes. Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie - Arvalis, Institut du végét

Auximore 2014b. Les staphylins. Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie - Arvalis, Institut du végét

Auzet A.-V., Guerrini M.-C., Muxart T. 1992. L'agriculture et l'érosion des sols : importance en France de l'érosion liée aux pratiques agricoles. *Économie rurale*, **208** (1) : 105-110. doi: 10.3406/ecoru.1992.4464.

Auzet V. 1987. L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de Géographie*, **96** (537) : 529-556.

Bagny Beilhe L., Allinne C., Avelino J., Babin R., Brévaut T., Gidoin C., Ngo Bieng M., Motisi N., Soti V., Ten Hoopen G. 2019. Régulation des bioagresseurs des cultures dans les systèmes agroforestiers tropicaux, revue des approches. In: *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*. éditions Quae

Baldy C., Dupraz C., Schilizzi S. 1993. Vers de nouvelles agroforesteries en climats tempérés et méditerranéens. *Cahiers Agricultures*, (2) : 375-386.

Barber H.S. 1931. Traps for Cave-Inhabiting Insects :: Journal of the NC Academy of Science [consulté le 10 juin 2021]. https://dc.lib.unc.edu/cdm/ref/collection/jncas/id/1537

Barbier J.M., Baury C., Bertuzzi P., Bondeau A., Couderc V., Courbet F., T Curt, Dalstein-Richier L., Davi H., Delmote S. 2016. Les effets du changement climatique sur l'agriculture etla forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur. *P. GREC-PACA*, (hal-01871694) : 41.

Barrier A. 2016. Impact du contexte paysager sur le service écosystémique rendu par les auxiliaires en grandes cultures. *Mémoire de stage pour la Chambre d'Agriculture de Vendée*, 72.

Beer J., Harvey C., Ibrahim M., Harmand J., Somarriba E., Jimenez F. 2015. Fonctions de service des systèmes agroforestiers. Canada : XII Congrès forestier mondial

Bengtsson J., Ahnström J., Weibull A.-C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis: Organic agriculture, biodiversity and abundance. *Journal of Applied Ecology*, **42** (2) : 261-269. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x.

Bissonnais Y.L., Cerdan O., Fox D., Gascuel C., Martin P., Planchon O., Rajot J.L., Revel J.C. 2005. L'érosion des sols. Dunod,

Bohac J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 357-372.

Boinot S., Mézière D., Sarthou J.-P., Lauri P.-E., Barkaoui K. 2019. Plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers tempérés : influence des linéaires sous-arborés. 32 p. p.

Bonadona P. 1971. Catalogue des Coléoptères Carabiques de France. Toulouse : Publication de la Nouvelle Revue d'Entomologie,

Bories O., Rue M. 2017. Quand des agriculteurs agroforestiers haut-garonnais nous parlent d'arbre et de paysage. *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, (16) : doi: 10.4000/paysage.5049. [consulté le 02 juillet 2021] url: https://journals.openedition.org/paysage/5049#tocto3n5.

Bourguignon L., Bourguignon C. 2015. La mort des sols agricoles. *Etudes sur la mort*, **n° 148** (2) : : eBibliographie_available: 1Cairndomain: www.cairn.infoCite Par_available: 0publisher: L'Esprit du temps47-53.

Burel F., Baudry J. 1999. Écologie du paysage : Concepts, méthodes et applications. 2e edn. EC & DOC, 2000, 359 p.

Calu G. 2020. Les indices de diversité en écologie des écosystèmes [consulté le 23 août 2021] url: https://louernos-nature.fr/indices-de-diversite-ecologie-ecosystemes/.

CarabAgri 2015a. Généralités sur les Carabidae

CarabAgri 2015b. INRA Toulouse. [consulté le 21 juillet 2021]. https://dynafor.toulouse.inra.fr/carabagri/index.php?sujet=determination

Chambre d'agriculture Bourgogne 2015. Les auxiliaires en grandes cultures : des alliés pour l'agroécologie

Charlotte Dor, Maillet-Mezeray J. 2011. Méthodologie de suivi des entomophages. Arvalis Institut du Végétal, Station Expérimentale : p. 3-6

Charvet J.-P. 2013. Atlas de l'agriculture. Comment nourrir le monde en 2050 ? Autrement, 208 p.

Chastaing S., Rouffaud H. 2019. Suivi Biodiversité du sol Selon le protocole Pot Barber. Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne

CIVAM Oasis 2017. Les carabes, insectivores voraces. *Civam Oasis Champagne-Ardenne*, 2.

Cognie F., Péron M. 2020. Mesurer la biodiversité (No. 046-2020). Conseil d'analyse économique

Collard V., Dreyfus J., Wartelle R. 2012. Cultiver les auxiliaires pour protéger les cultures : les pratiques à favoriser

De Montaigne A., Robert C. 2014. Guide d'élaboration d'un protocole d'observation des auxiliaires entomophages en grandes cultures. *Auximore, piloté par la Chambre d'agriculture régionale de Picardie*, 45.

Delfosse E. 2005. Le nombre d'espèces d'Arachnides répertoriées en France et dans le monde (Arthropoda : Arachnida). *Le bulletin d'Arthropoda*, **23** : 9-15.

Des arbres et des paysages | Arbre et Paysage 32 s. d.

Diwo-Allain S., Bout A. 2004. Impact des aménagements paysagers et des techniques culturales sur les carabes, auxiliaires de culture. CRITT INNOPHYT

Dupraz C. 2006. Agroforesterie : Quand les arbres font leur retour dans les champs. *Agravalor*, (141) : 36.

Dupraz C., Liagre F. 2011. Agroforesterie : des arbres et des cultures. Editions France Agricole. 432 p. (Coll. Agriproduction, 2e édition)

Durant D., Lemaire N. 2016. Des bandes enherbées pour favoriser l'abondance et la diversité des carabidés. *TCS. Techniques Culturales Simplifiées*, (90) : 31.

Durousseau M. 2008. Le constat : la biodiversité en crise. *Revue juridique de l'Environnement*, **33** (1) : 11-19. doi: 10.3406/rjenv.2008.4694.

Elliott N.C., Kieckhefer R.W., Lee J.-H., French B.W. 1999. Influence of within-field and landscape factors on aphid predator populations in wheat. *Landscape Ecology*, **14** (3) : 239-252. doi: 10.1023/A:1008002528345.

Eyre M.D., Luff M.L., Leifert C. 2013. Crop, field boundary, productivity and disturbance influences on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the agroecosystem.

Agriculture, Ecosystems & Environment, **165** : 60-67. doi: 10.1016/j.agee.2012.12.009.

Fayet T. 2020. Agroforesteries céréalières en Provence : quels enjeux pour les agriculteurs et la filière (Mémoire de fin d'étude). GR CIVAM PACA

Fourcade A. 2015. La gestion des bioagresseurs par des régulations naturelles. Chambre d'Agriculture - Dordogne

Fournier E., Loreau M. 2002. Foraging activity of the carabid beetle Pterostichus melanarius Ill. in field margin habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **89** (3) : 253-259. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00216-X.

FSA 2017. Centrale hydroélectrique d'Entraunes : étude d'impact sur l'environnement

Gac A., Dollé J.-B., Gall A.L., Klumpp K., Tallec T., Mousset J., Eglin T., Bispo A., Peyraud J.-L., Faverdin P. 2010. Le stockage de carbone par les prairiess : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre. *Institut de l'Elevage - INRA*, **Collection l'Essentiel** (hal-02824535) : 13.

Garcin A., Picault S., Ricard J.M. 2011. Fiche carabes culture légumière et fruitière

Giraud A. 2012. Les auxiliaires des cultures : arboriculture, maraîchage, grandes cultures. Chambre d'Agriculture -d'Ardèche

Groupe PRDA s. d. Les staphylins: un prédateur discret, mais très actif. *Flash biodiversité n°9*,

Hamon X. 2009. Etude de l'impact des aménagements agroforestiers sur les coléoptères carabidae. *Rapport d'activités PIRAT*, 75.

Hanson H.I., Palmu E., Birkhofer K., Smith H.G., Hedlund K. 2016. Agricultural Land Use Determines the Trait Composition of Ground Beetle Communities. *PLOS ONE*, **11** (1) : e0146329. doi: 10.1371/journal.pone.0146329.

Hassan D.A. 2012. Rôle du paysage sur la répartition et l'abondance des pucerons et de leurs prédateurs carabiques. *Biodiversité et Ecologie. Université de Rennes 1*, (tel-00794312f) : 202.

Hatten T.D., Bosque-Pérez N.A., Labonte J.R., Guy S.O., Eigenbrode S.D. 2007. Effects of Tillage on the Activity Density and Biological Diversity of Carabid Beetles in Spring and Winter Crops. *Environmental Entomology*, **36** (2) : 356-368. doi: 10.1093/ee/36.2.356.

Honěk A., Jarošík V. 2013. The role of crop density, seed and aphid presence in diversification of field communities of Carabidae (Coleoptera). *EJE*, **97** (4) : 517-525. doi: 10.14411/eje.2000.080.

Hood M. 2019. World seeing « catastrophic collapse » of insects: study [consulté le 21 septembre 2021]. https://phys.org/news/2019-02-world-catastrophic-collapse-insects.html

INPN 2021. Poecilus kugelanni. Inventaire National du Patrimoine Naturel. [consulté le 03 septembre 2021]. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/222545

Inurreta Aguirre H. 2015. À la recherche de la facilitation en agroforesterie : la présence des arbres réduit-elle les stress hydrique et thermique dans les dernières phases de croissance des céréales d'hiver en climat méditerranéen ? Une approche expérimentale et de modélisation. Montpellier, SupAgro, These en préparation. [consulté le 22 juin 2021]. https://www.theses.fr/s191107.

IPCC 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)] Cambridge University Press. In Press.

Jonsen I., Fahrig L. 1997. Response of generalist and specialist insect herbivores to landscape spatial structure. *Landscape Ecology*, **12** : 185-197. doi: 10.1023/A:1007961006232.

Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, **76** : 1-10. doi: 10.1007/s10457-009-9229-7.

Kennedy P.J., Conrad K.F., Perry J.N., Powell D., Aegerter J., Todd A.D., Walters K.F.A., Powell W. 2001. Comparison of two field-scale approaches for the study of effects of insecticides on polyphagous predators in cereals. *Applied Soil Ecology*, **17** (3) : 253-266. doi: 10.1016/S0929-1393(01)00142-1.

Kohli R.K., Singh H.P., Batish D.R., Jose S. s. d. 1 Ecological Interactions in Agroforestry: An Overview. *Ecological Basis of Agroforestry*, 13.

Koivula M. 2011. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys*, **100** : 287-317. doi: 10.3897/zookeys.100.1533.

Kromp B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **74** (1) : 187-228. doi: 10.1016/S0167-8809(99)00037-7.

Labant P. 2009. Principes d'Aménagement et de Gestion des Systèmes Agroforestiers. Association Française Arbres et Haies Champêtres (AFAHC)

Lang A. 2003. Intraguild interference and biocontrol effects of generalist predators in a winter wheat field. *Oecologia*, **134** (1) : 144-153. doi: 10.1007/s00442-002-1091-5.

Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., Sigmap 2002. L'érosion hydrique des sols en France

Leclercq M., Tosser V., Gardarin A., Teulé J.M., Canard E., Plantegenest M. 2018. Lutte contre les ravageurs : des auxiliaires sous surveillance rapprochée. *Perspectives Agricoles*, (n°461) : 4 pages.

Martin A. 2014. Suivi des auxiliaires invertébrés épigés : *Mémoire de fin d'étude*, 111.

Masson M. 2018. Les Auxiliaires de cultures : les connaître et les favoriser. Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme

Merlot B., Caillet-Bois D., Zurbrügg C. 2012. Favoriser les auxiliaires de culture

Nasir S., Akram W., Zahid F.M., Ahmed F., Hussain S.M., Nasir I. 2015. Effect of Crop Type and Production Systems (Conventional and Organic Agriculture) on the Density of Rove Beetles (Staphylinidae: Coleoptera) in the Punjab, Pakistan. *Journal of the Kansas Entomological Society*, **88** (1) : 1-9.

Navntoft S., Esbjerg P., Riedel W. 2006. Effects of reduced pesticide dosages on carabids (Coleoptera: Carabidae) in winter wheat. *Agricultural and Forest Entomology*, **8** (1) : 57-62. doi: 10.1111/j.1461-9555.2006.00282.x.

Pellerin S., Bamière L., Launay C., Martin R., Schiavo M., Angers D., Augusto L., Balesdent J., BASILE-DOELSCH I., Bellassen V., Cardinael R., Cécillon L., Ceschia E., Chenu C., Constantin J., Darroussin J., Delacote P., Delame N., Gastal F., Gilbert D., Graux A.-I., Guenet B., Houot S., Klumpp K., LETORT E., Litrico I., Martin M., Menasseri-Aubry S., Meziere D., Morvan T., Mosnier C., ROGER-ESTRADE J., Saint-André L., Sierra J., Therond O., Viaud V., Grateau R., Le Perchec S., Savini I., Rechauchère O. 2019. Stocker du carbone dans les sols français, quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? (Other). Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : 114 p. p.

Pellerin S., Bamière L., Pardon L. 2015a. Agriculture et gaz à effet de serre: Dix actions pour réduire les émissions. Editions Quae, 202 p.

Pellerin S., Bamière L., Pardon L. 2015b. Agriculture and Greenhouse Gases - Ten Actions to Reduce Emissions -. Éditions Quae.

Petersen M.K. (slu 1997. Life histories of two predaceous beetles, Bembidion lampros and Tachyporus hyponorum, in the agroecosystem. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria (Sweden)*, [consulté le 12 juillet 2021] url: https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE9710872.

Preud'homme R., Rovillos R.B., Chaubet R. 2011. Guide de Terrain : Piège Barber

Projet SEBIOREF 2017. Connaître la biodiversité utile à l'agriculture pour raisonner ses pratiques - Fiche 3 : Araignées4. doi: 10.15454/1.5232655838187383E12.

Puech C., Baudry J., Aviron S. 2013. Effet des pratiques biologiques et conventionnelles sur les communautés d'insectes auxiliaires dans les paysages agricoles. *Innovations Agronomiques*, **32** : 401-412.

R CORE TEAM 2021. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing [consulté le 12 juillet 2021]. https://www.r-project.org/

Rabourdin N., Dor C., Maillet Mezeray J. 2011. Impact des pratiques et des aménagememtns sur l'abondance et la diversité des carabides. In: *Programme*

*CASDAR*Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats. p. 19-26

Ricci B., Lavigne C., Alignier A., Aviron S., Biju-Duval L., Bouvier J.C., Choisis J.-P., Franck P., Joannon A., Ladet S., Mezerette F., Plantegenest M., Savary G., Thomas C., Vialatte A., Petit S. 2019. Local pesticide use intensity conditions landscape effects on biological pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **286** (1904) : 20182898. doi: 10.1098/rspb.2018.2898.

RMT Biodiversité fonctionnelle 2010. Biologie et écologie des principales espèces rencontrée en grandes cultures. 66 p.

Roger J.L., Jambon O., Bouger G. 2016. Clé de determination des Carabides - Paysages agricoles du Nord Ouest de la France. *INRA Rennes*, 256.

Ryszkowski L., Karg J., Margarit G., Paoletti M.G., Zlottin R. 1993. Above ground insect biomass in agricultural landscapes of Europe. I. In: *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Lewis Publishers, Ann Arbour : p. 71-82

Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, **232** : 8-27. doi: 10.1016/j.biocon.2019.01.020.

Saussure S. 2010. Dynamique saisonnière d'une population de carabes auxiliaires de cultures (Pterostichus melanarius) et régulation biologique dans une mosa\"ique de cultures et d'éléments non cultivés.

Schmidt M.H., Lauer A., Purtauf T., Thies C., Schaefer M., Tscharntke T. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **270** (1527) : 1905-1909. doi: 10.1098/rspb.2003.2469.

Schmidt M.H., Tscharntke T. 2005. Landscape context of sheetweb spider (Araneae: Linyphiidae) abundance in cereal fields. *Journal of Biogeography*, **32** (3) : 467-473. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01244.x.

Schweiger O., Maelfait J.P., Wingerden W.V., Hendrickx F., Billeter R., Speelmans M., Augenstein I., Aukema B., Aviron S., Bailey D., Bukacek R., Burel F., Diekötter T., Dirksen J., Frenzel M., Herzog F., Liira J., Roubalova M., Bugter R. 2005. Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. *Journal of Applied Ecology*, **42** (6) : 1129-1139. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01085.x.

Suty L. 2010. La lutte biologique: Vers de nouveaux équilibres écologiques. Editions Quae, 334 p.

The Organic Research Centre 2010. Agroforestry : Reconciling Production with Protection of the Environment

Thies C., Roschewitz I., Tscharntke T. 2005. The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **272** (1559) : 203-210. doi: 10.1098/rspb.2004.2902.

Thies C., Steffan-Dewenter I., Tscharntke T. 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos*, **101** (1) : 18-25. doi: 10.1034/j.1600-0706.2003.12567.x.

Thies C., Tscharntke T. 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science*, **285** (5429) : 893-895. doi: 10.1126/science.285.5429.893.

Tosser V. 2020. Les carabes: mieux connaître leur cycle de vie

Tscharntke T., Klein A., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, (8) : 857-874.

Van Lerberghe P. 2015. Les systèmes agroforestiers en France: Entre tradition et modernité. *Forêt Entreprise*, (225) : [consulté le 02 juillet 2021] url: http://sprimont2018.be/portfolio/wp-content/uploads/2018/01/introduction_dossier_agroforet_France_2015.pdf.

Waligora C. 2005. Explosion des populations en non-labour et couvert permanent [consulté le 10 juin 2021] url: https://innophyt.univ-tours.fr/medias/fichier/waligora_tcs_carabes_1288000517945.pdf.

World Spider Catalog 2021. World Spider Catalog [consulté le 22 juin 2021]. http://wsc.nmbe.ch

Zagatti P., Bouget C., Bouyon H., Horellou A., Mari A., Mériguet B. 2020. Actualisation de la liste des espèces de coléoptères déterminantes de ZNIEFF en région Île-de-France. DRIEE Île-de-France – CSRPN Île-de-France – Opie : 12 p.

Annexes

Liste des annexes

Annexe 1 : Tableaux des indices de biodiversité des cinq parcelles 82
Annexe 2 : Vue satellite et plan d'échantillonnage des cinq parcelles..... 83
Annexe 3:Tableaux des indices de biodiversité..... 85
Annexe 4: Nombre de carabes piégés par espèces selon les modalités pour chaque parcelle sur toute la saison estivale..... 89
Annexe 5: Graphiques représentants les espèces de carabes retrouvés sur les parcelles, tout au long de la saison..... 91
Annexe 6: Données météorologiques des 5 parcelles..... 93
Annexe 7: Proportion d'araignées retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison..... 94
Annexe 8: Proportion de carabes retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison 95
Annexe 9: Proportion et nombre d'espèces de carabes retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison..... 96
Annexe 10: proportion de carabes au sein des modalités « Lignes d'arbre » et « Mlilieu de l'inter-rang » 97
Annexe 11: proportion d'araignées au sein des modalités « Ligne d'arbres » et « Milieu de l'inter-rang » 98
Annexe 12: Espèces de carabes et nombre d'individus capturés dans la modalité "élément paysager"..... 99

Annexe 1 : Tableaux des indices de biodiversité des cinq parcelles

Parcelles	Essences
Vinon – SD	Essences de haut jet:, Tilleul à grande feuille, Micocoulier de Provence, Alisier torminal, Cormier Essences de moyen jet : Arbre de Judée, Amandier, Erable de Montpellier, Poirier sauvage Arbustes : Baguenaudier, amélanchier des bois, Viorne lantane, Cornouiller mâle, Laurier noble, Poivrier des moines, Filaire à feuilles larges
Valensole – BO	Essences de haut jet pour bois d'œuvre: aulne de Corse, orme, merisier, tulipier de Virginie, alisier torminal, cormier, poirier sauvage
Forcalquier – Sf	Essences truffières : chênes verts et blancs Noisetiers
Ste Baume – PP	Arbres de haut jet : arbre à miel, arbre de Judée, Aulne de Corse, cormier, érable de Montpellier, murier blanc, murier noir, noisetier de Bysance, poirier a feuille d'amandier, Sophora du Japon, tilleul de Crimée) Arbustes : viorne obier, baguenaudier, chalef de Ebbing, lavande) (Total: 511 plants)
Beaurecueil – A	2 variétés d'amandiers : Mandalino et Lauranne

Annexe 2 : Vue satellite et plan d'échantillonnage des cinq parcelles

Source : Géoportail

Plan d'échantillonnage de la parcelle Vinon – Semis direct

Plan d'échantillonnage de la parcelle Valensole – Bois d'œuvre

Plan d'échantillonnage de la parcelle Sainte Baume – Prairie

Plan d'échantillonnage de la parcelle Forcalquier – Sainfoin

Plan d'échantillonnage de la parcelle Beaurecueil - Amandiers

Annexe 3:Tableaux des indices de biodiversité

Indice de biodiversité sur la parcelle Vinon SD

	Vinon - SD	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
	Abondance	5	0	10	8	9
	T	4	0	4	6	3
	H'	2	-	1,9	2,5	0,9
LA	Eq	1	-	0,9	0,9	0,6
	Abondance	3	7	7	2	1
	T	2	4	4	2	1
	H'	0,9	1,8	1,95	1	0
Mil	Eq	0,9	0,9	0,9	1	-
	Abondance	10	6	11	2	2
	T	3	2	5	2	1
	H'	1,4	0,7	2,1	1	0
10m	Eq	0,9	0,7	0,9	1	
	Abondance	9	9	3	0	1
	T	3	3	2	0	1
	H'	1,2	1,2	0,9	-	0
TA	Eq	0,8	0,8	0,9	-	-
	Abondance	27	22	31	12	13
	T	5	6	6	7	5
	H'	1,8	1,9	2,5	2,8	1,7
Total	Eq	0,8	0,8	0,96	0,98	0,7

Indice de biodiversité sur la parcelle Valensole Bois d'oeuvre

	Valensole - Bois d'œuvre	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
	Abondance	2	5	19	5	8
	T	2	4	5	3	3
	H'	1	1,826	0,671	1,522	1,299
LA	Eq	1	0,913	0,289	0,96	0,819
	Abondance	0	13	0	2	7
	T	0	4	0	1	3
	H'		0,592		0	1,149
Mil	Eq		0,592			0,725
	Abondance	0	10	7	2	11
	T	0	4	3	2	3
	H'		1,571	1,379	1	0,629
10m	Eq		0,785	0,870	1	0,397
	Abondance	0	7	55	2	5
	T	0	2	4	2	1
	H'		0,592	0,359	1	0
EP	Eq		0,592	0,179	1	
	Abondance	2	35	81	11	31
	T	2	9	8	5	7
	H'	1	2,59	1,624	2,118	1,811
Total	Eq	1	0,817	0,541	0,912	0,645

Indice de biodiversité sur la parcelle Forcalquier - Sainfoin

	Forcalquier - Sainfoin	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
	Abondance	3	17	5	4	12
	T	3	4	2	3	3
	H'	1,585	0,952	0,722	1,5	0,866
LA A	Eq	1	0,476	0,722	0,946	0,546
	Abondance	5	7	2	6	18
	T	2	3	2	2	4
	H'	0,722	1,379	1	0,918	1,140
LA B	Eq	0,722	0,870	1	0,918	0,570
	Abondance	4	2	2	1	8
	T	3	2	2	1	1
	H'	1,5	1	1	0	0
EP	Eq	0,946	1	1		

	Abondance	0	26	9	11	38
	T	6	9	5	4	6
	H'	2,221	1,631	1,88	1,859	1,529
Total	Eq	0,859	0,514	0,81	0,929	0,592

Indice de biodiversité sur la parcelle Sainte Baume - Prairie

	Sainte Baume - Prairie	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
	Abondance	0	8	11	3	6
	T	0	2	4	3	4
	H'		0,954	1,553	1,585	1,792
LA	Eq		0,954	0,777	1	0,896
	Abondance	0	11	26	3	3
	T	0	2	3	3	1
	H'		0,439	1,583	1,585	0
Mil	Eq		0,439	0,999	1	
	Abondance	1	10	19	4	30
	T	1	3	3	2	2
	H'	0	1,295	0,978	1	0,469
EP	Eq		0,817	0,489	1	0,469
	Abondance	1	29	56	10	39
	T	1	7	9	7	6
	H'	0	2,449	2,563	2,722	1,474
Total	Eq		0,872	0,808	0,97	0,57

Indice de biodiversité sur la parcelle Beaurecueil - Amandiers

	Beaurecueil - Amandiers	Avril	Mai	Juin
	Abondance	5	3	5
	T	3	3	4
	H'	1,458	1,585	1,458
LA	Eq	0,920	1	0,729
	Abondance	0	2	1
	T	0	2	1
	H'		1	0
Mil	Eq		1	
	Abondance	0	28	0
	T	0	3	0
	H'		0,443	
Verger	Eq		0,279	

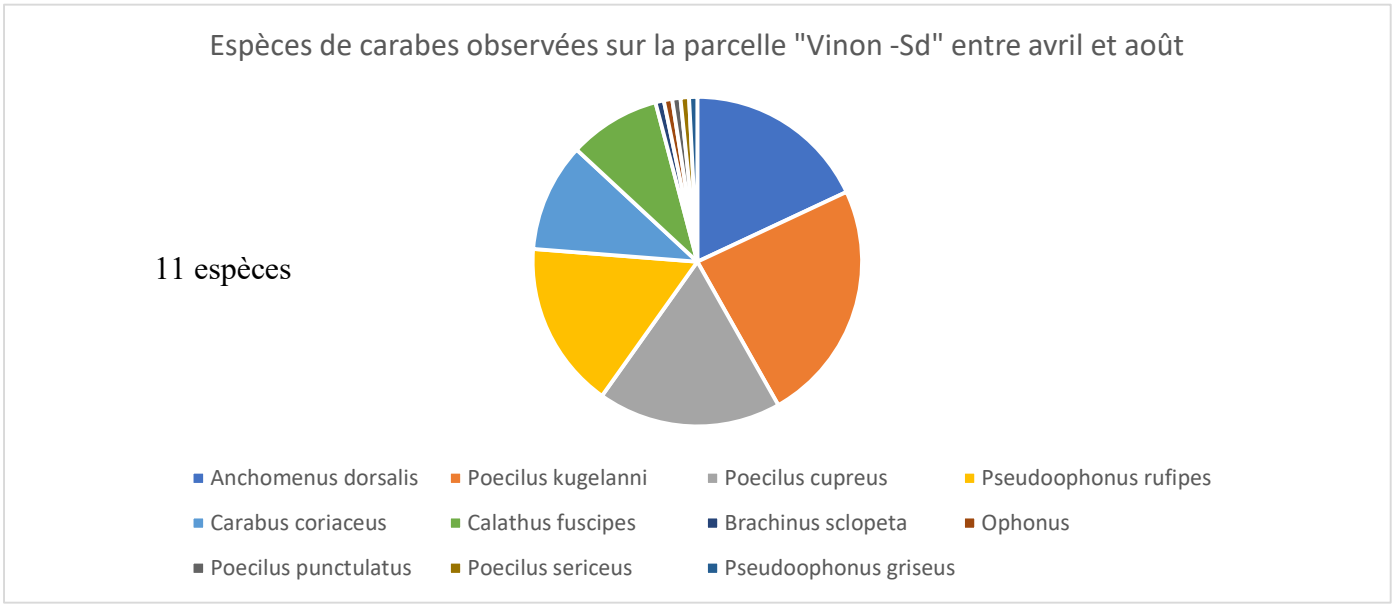
	Abondance	5	5	3
	T	4	1	2
	H'	1,922	0	0,918
TA	Eq	0,961		0,918
	Abondance	10	38	9
	T	6	7	4
	H'	2,446	1,461	1,891
Total	Eq	0,946	0,521	0,946

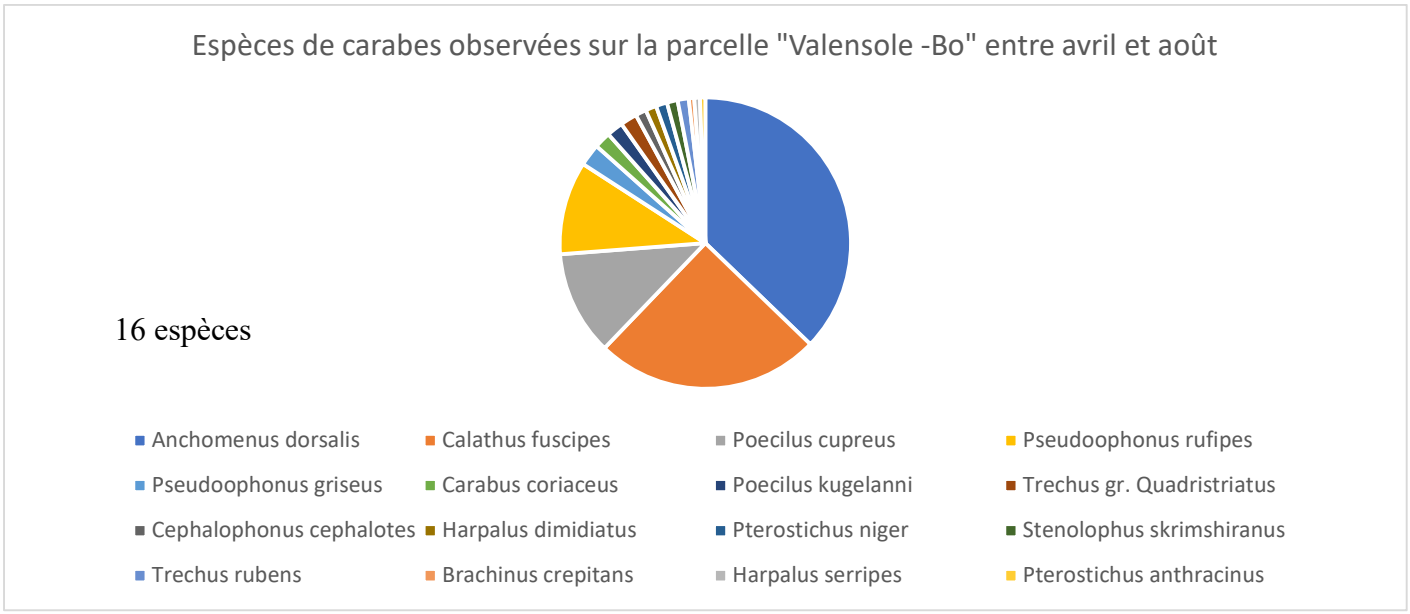
Annexe 4: Nombre de carabes piégés par espèces selon les modalités pour chaque parcelle sur toute la saison estivale

	Vinon - Semis direct				Beaurecueil - Amandiers				Sainte Baume - Praire			Valensole - Bois d'œuvre				Forcalquier - Sainfoin		
	LA	Milieu	10m	TA	LA	Milieu	verger	TA	LA	Milieu	EP	LA	Milieu	10m	EP	LA A	LA B	EP
Acinopus picipes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0
Amara eurynota	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amara nidita	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Amara similata	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Anchomenus dorsalis	3	3	4	12	2	1	0	0	5	0	0	6	4	1	50	0	0	1
Brachinus crepitans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Brachinus sclopeta	0	0	0	1	2	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Calathus erratus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Calathus fuscipes	3	2	2	0	1	0	0	2	7	12	10	23	1	0	17	1	4	10
Calathus luctuosus	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carabus coriaceus	1	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Cephalophonus cephalotes	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Dixus capito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Harpalus attenuatus	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Harpalus dimidiatus	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Harpalus oblitus	0	0	0	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Harpalus pigmaeus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Harpalus serripes	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	2	1	0
Harpalus tardus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Harpalus tenebrosus	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Licinus silphoides	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nebria brevicollis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0
Nebria salina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Notiophilus rufipes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ophonus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poecilus cupreus	5	0	7	2	0	0	0	0	0	1	0	2	5	12	0	0	0	0
Poecilus kugelanni	2	8	14	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	2	3
Poecilus punctulatus	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poecilus sericeus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	22	0

Pseudoophonus griseus	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0
Pseudoophonus rufipes	11	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	10	0	1	0	1
Pterostichus anthracinus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	1	0	0	0	4	1
Pterostichus cristatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pterostichus melanarius	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pterostichus niger	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9	2	0	0	0	0	0	0
Stenolophus skrimshiranus	2	0	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Trechus gr. Quadristriatus	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Trechus rubens	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

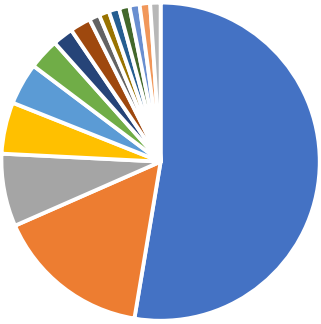
Annexe 5: Graphiques représentants les espèces de carabes retrouvés sur les parcelles, tout au long de la saison





Espèces de carabes observées sur la parcelle "Forcalquier - Sf" entre avril et août

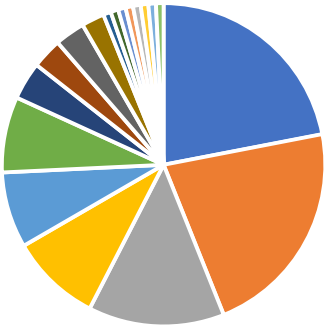
15 espèces



Poecilus sericeus | Calathus fuscipes | Poecilus kugelanni | Pterostichus anthracinus
Acinopus picipes | Harpalus serripes | Harpalus tardus | Pseudoophonus rufipes
Amara nidita | Amara similata | Anchomenus dorsalis | Brachinus sclopeta
Carabus coriaceus | Harpalus pigmaeus | Harpalus tenebrosus

Espèces de carabes observées sur la parcelle "Ste Baume - P" entre avril et août

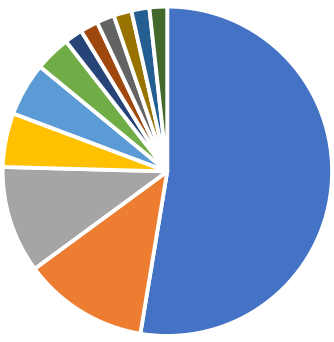
18 espèces



Calathus fuscipes | Nebria brevicollis | Pterostichus anthracinus | Harpalus attenuatus
Nebria salina | Pterostichus niger | Anchomenus dorsalis | Harpalus dimidiatus
Harpalus tenebrosus | Harpalus serripes | Amara similata | Calathus erratus
Dixus capito | Notiophilus rufipes | Poecilus cupreus | Pseudoophonus griseus
Pterostichus cristatus | Pterostichus melanarius

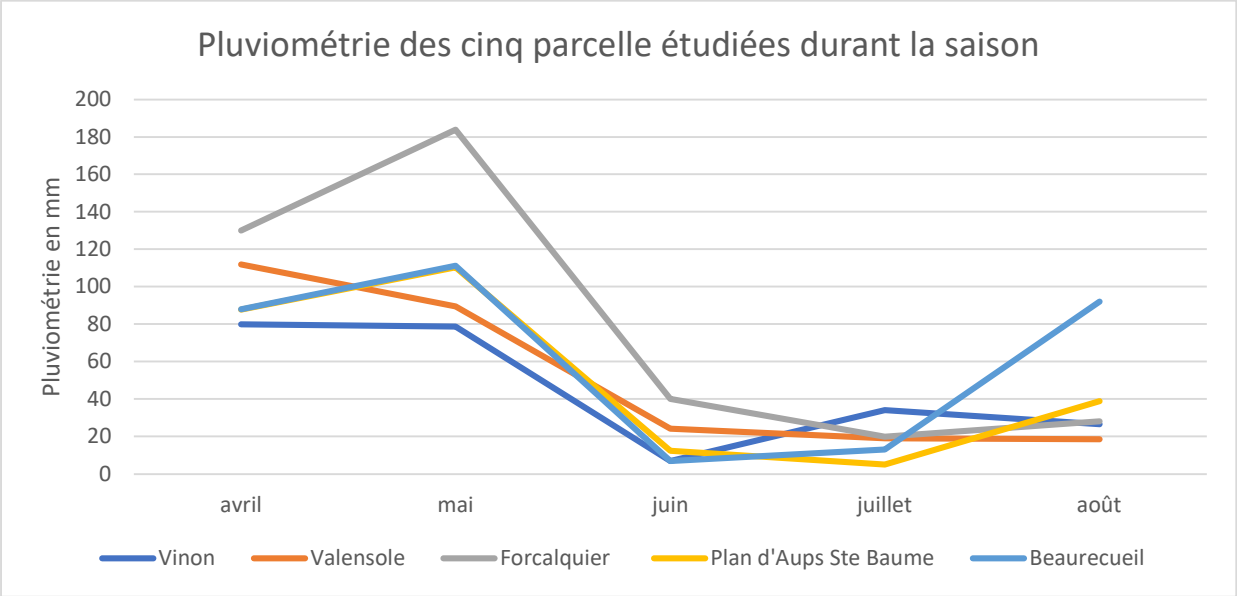
Espèces de carabes observées sur la parcelle "Beaurecueil - A" entre avril et août

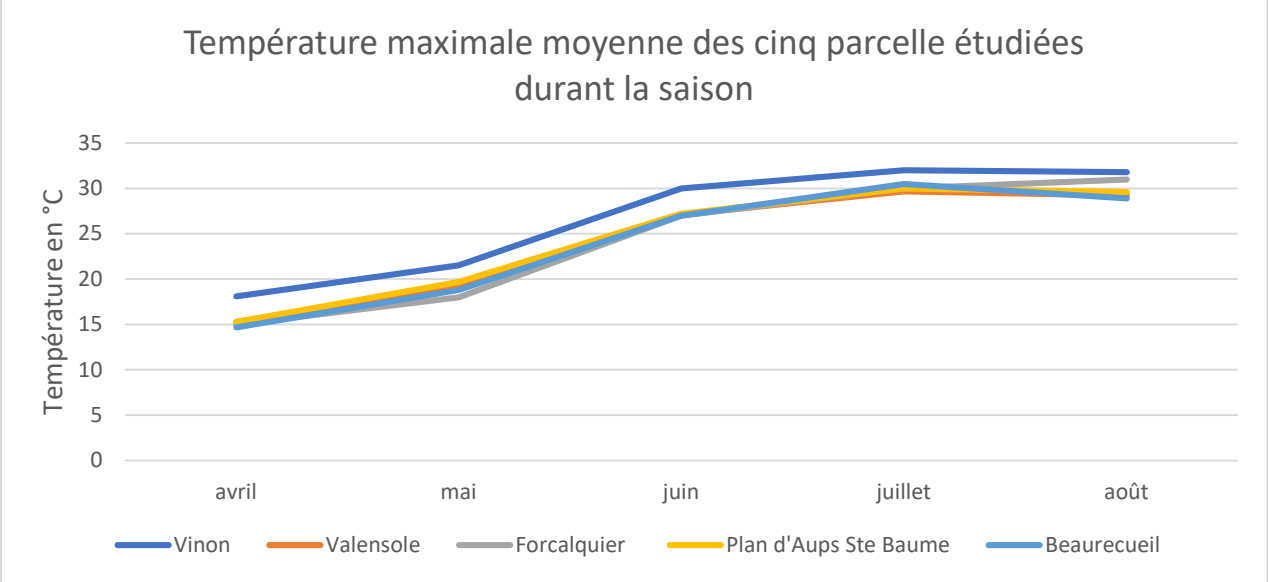
12 espèces



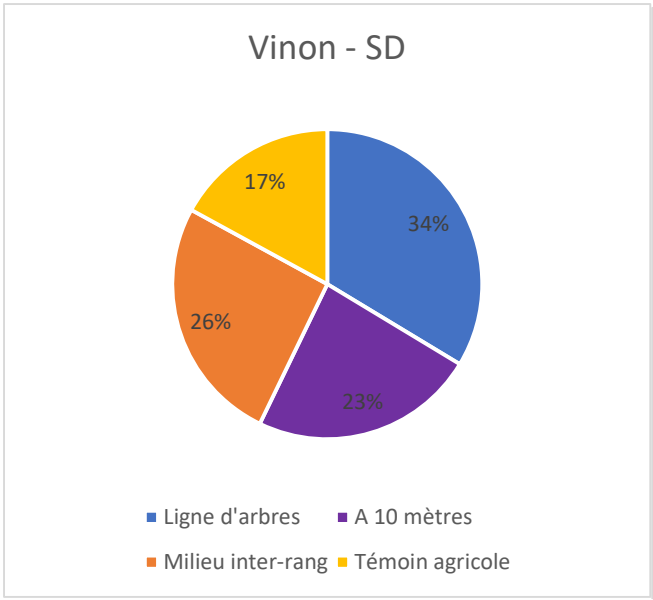
Brachinus sclopeta | Harpalus oblitus | Stenolophus skrimshiranus | Anchomenus dorsalis
Calathus fuscipes | Cephalophonus cephalotes | Amara eurynota | Amara nidita
Calathus luctuosus | Licinus silphoides | Poecilus punctulatus | Trechus gr. Quadristriatus

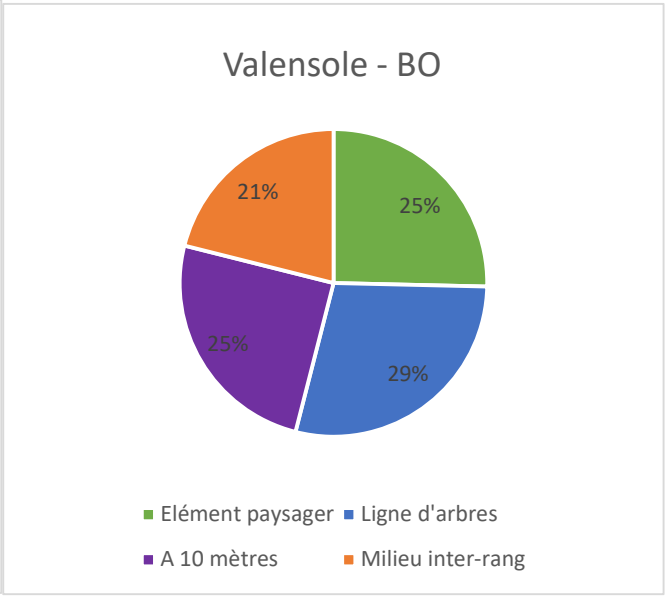
Annexe 6: Données météorologiques des 5 parcelles

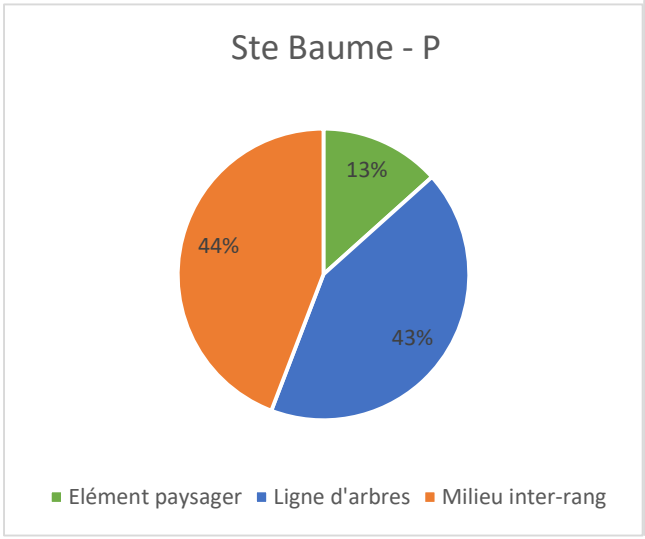


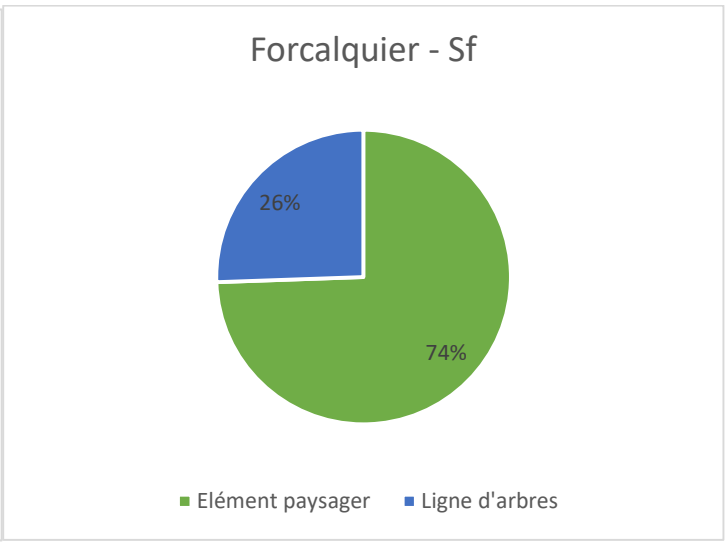


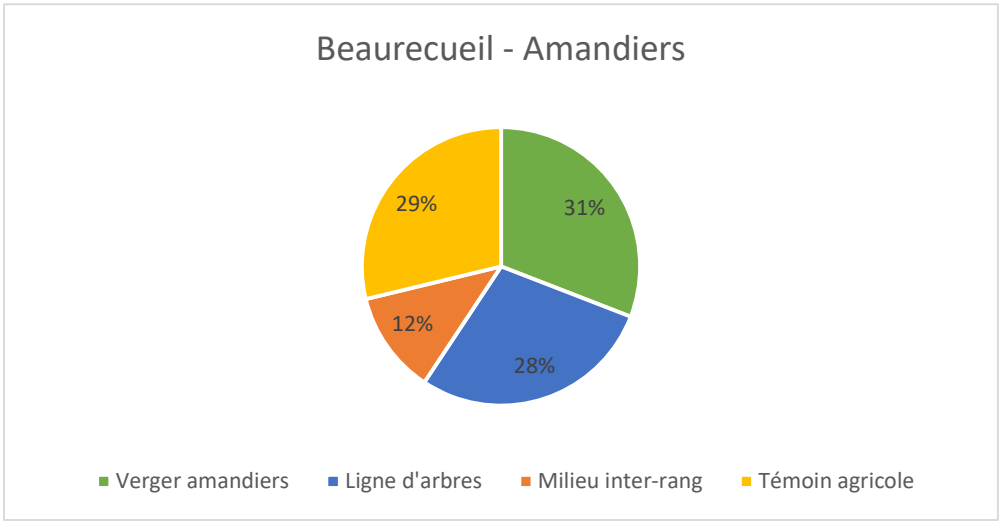
Annexe 7: Proportion d'araignées retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison



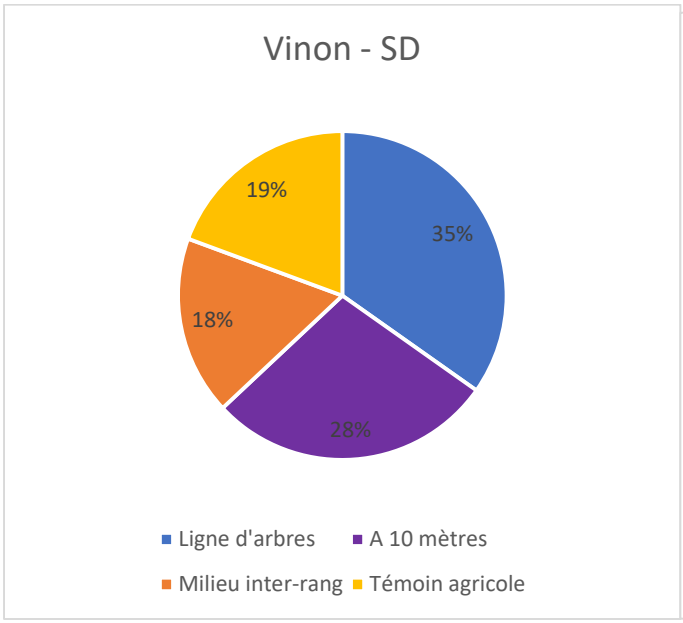


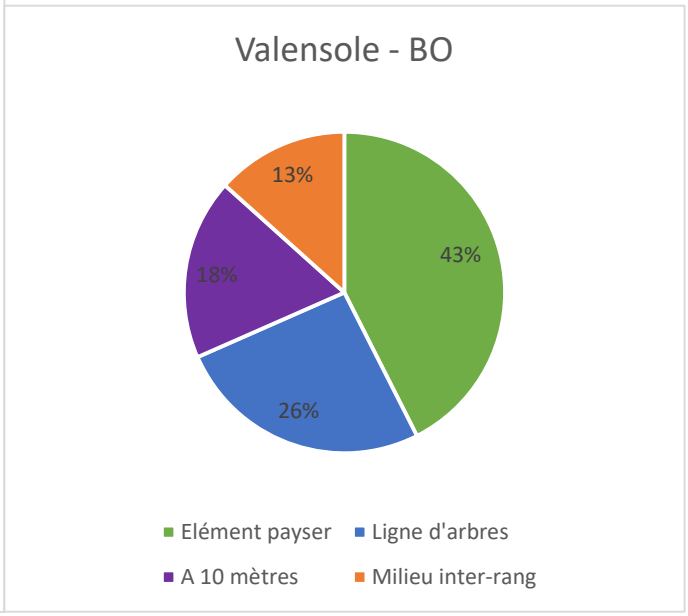


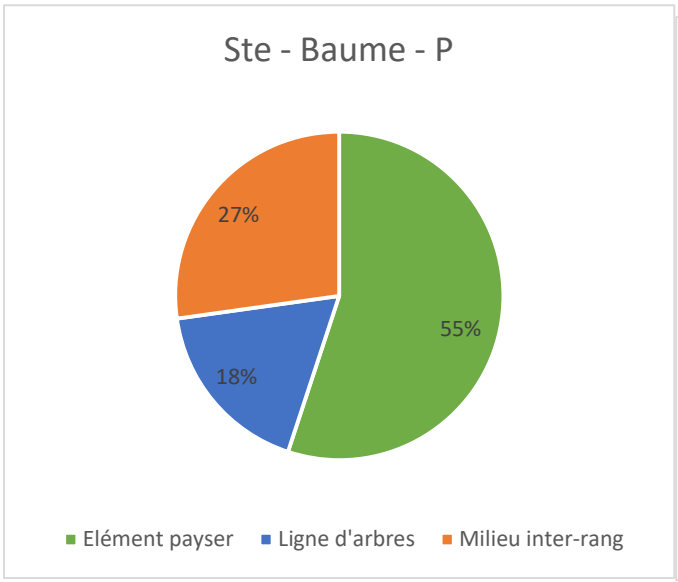


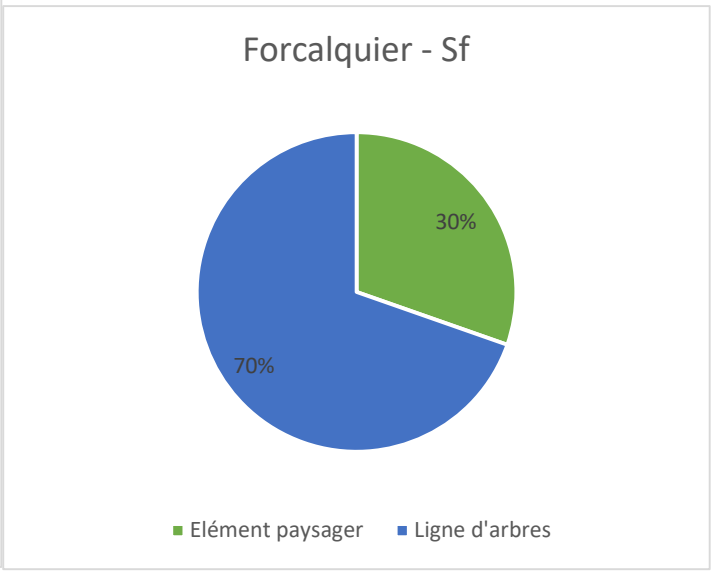


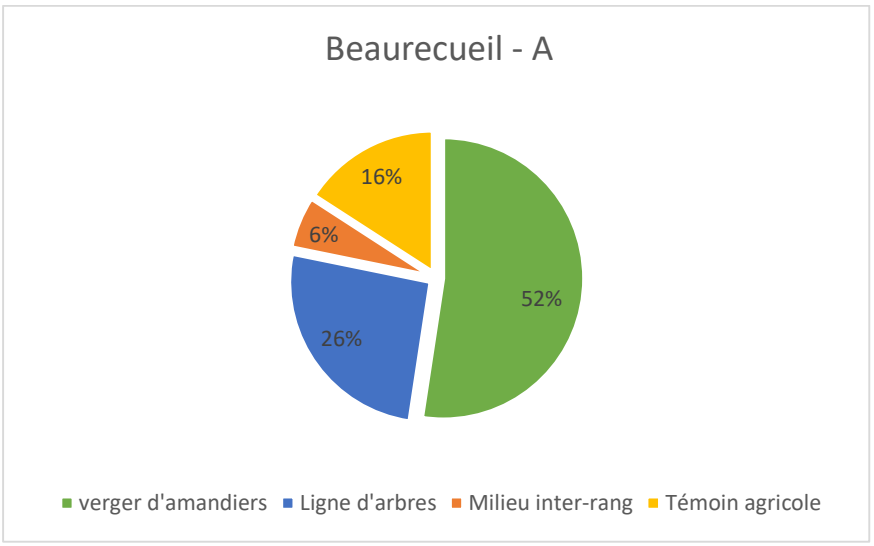
Annexe 8: Proportion de carabes retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison



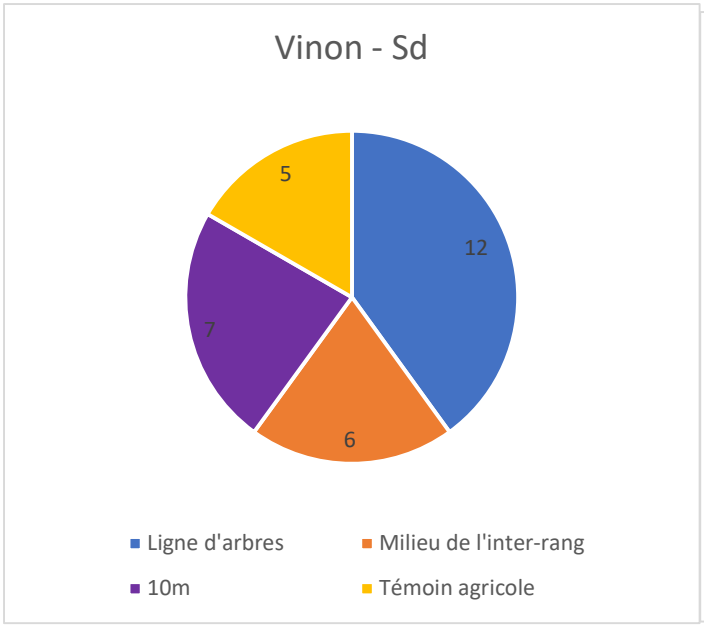


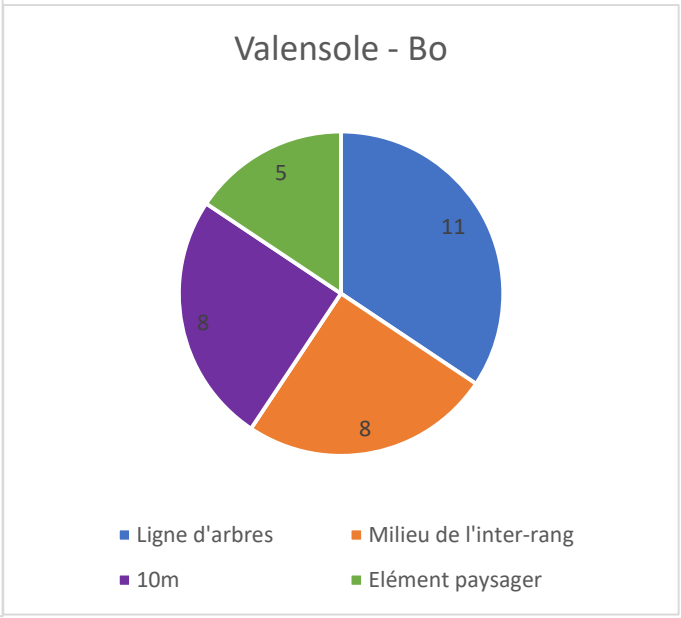


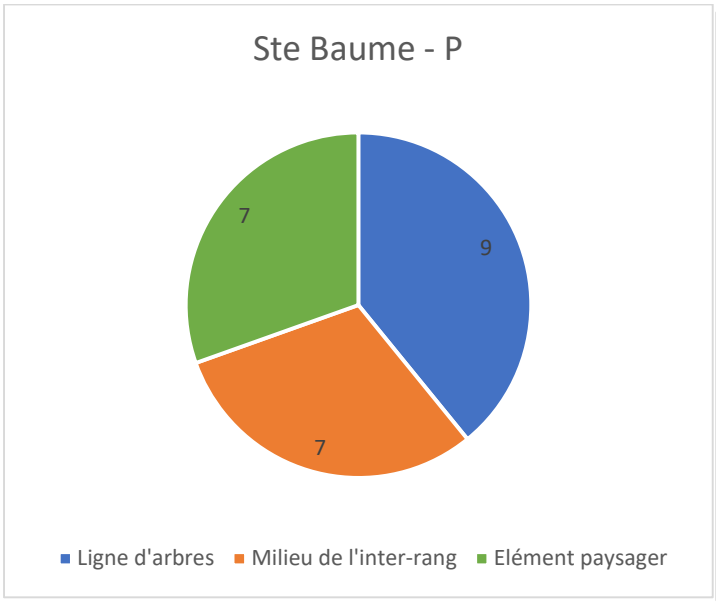


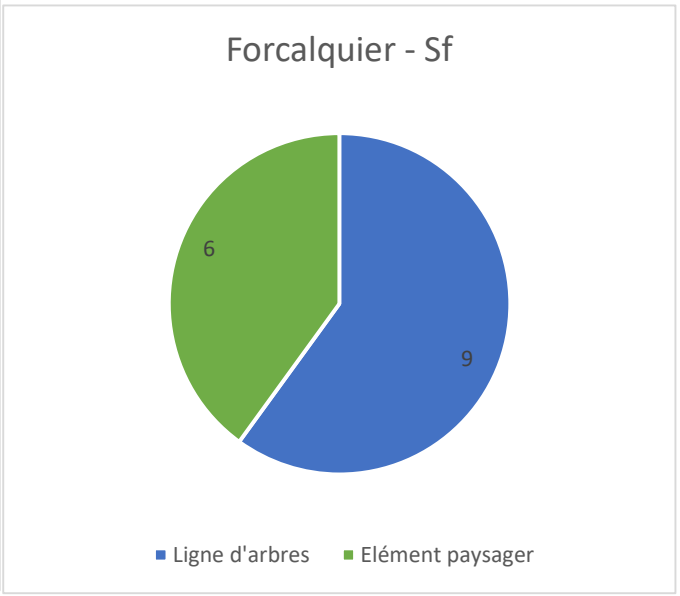


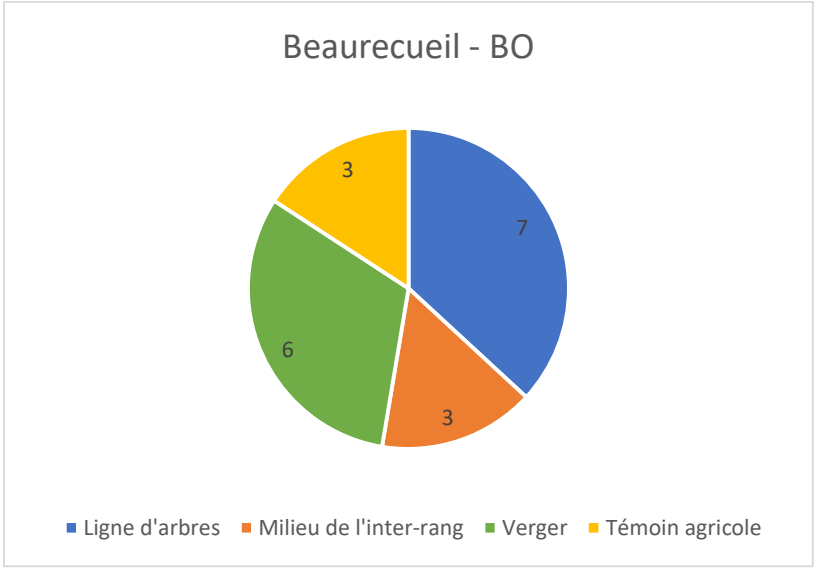
Annexe 9: Proportion et nombre d'espèces de carabes retrouvées par modalité sur l'ensemble de la saison



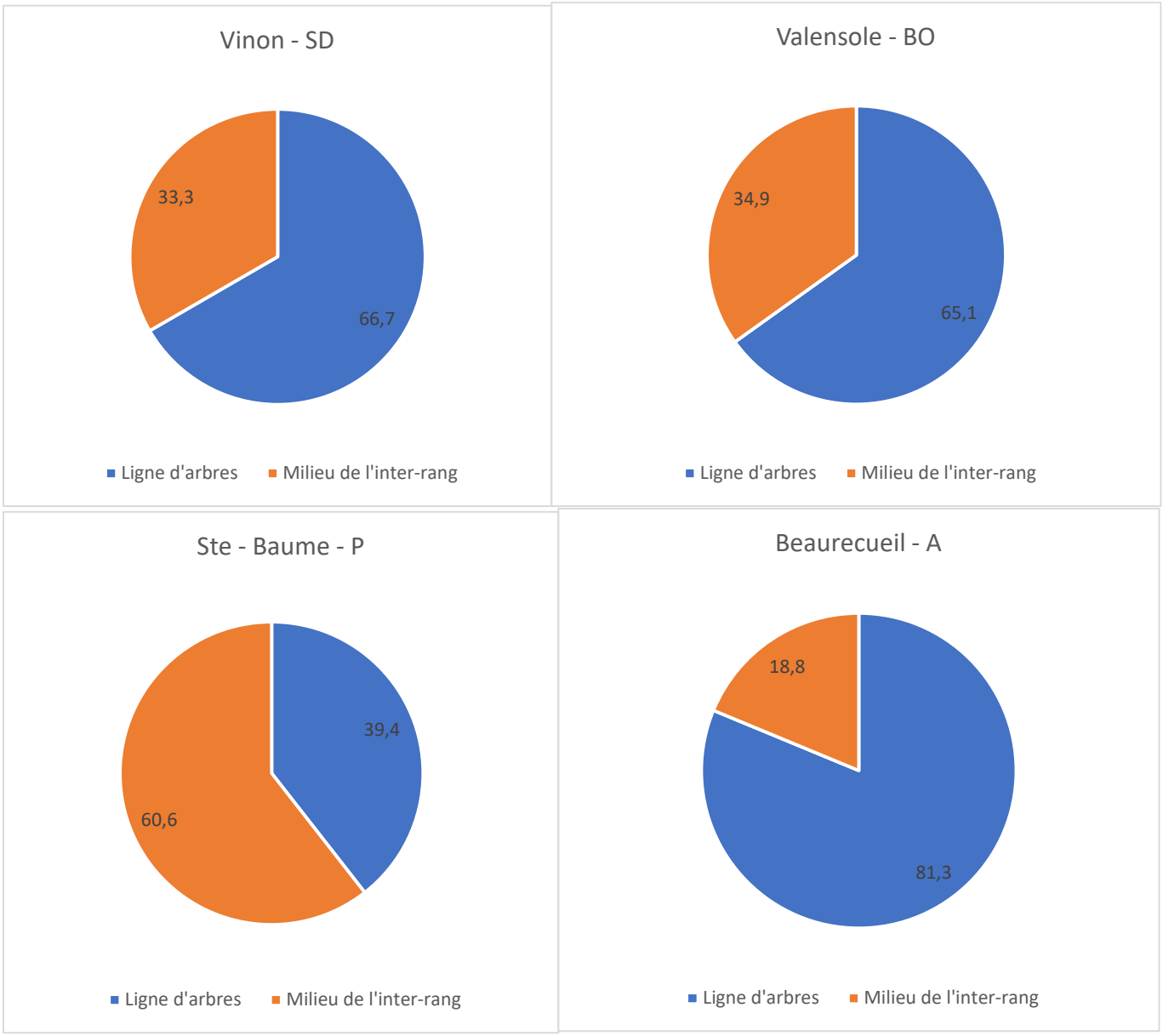




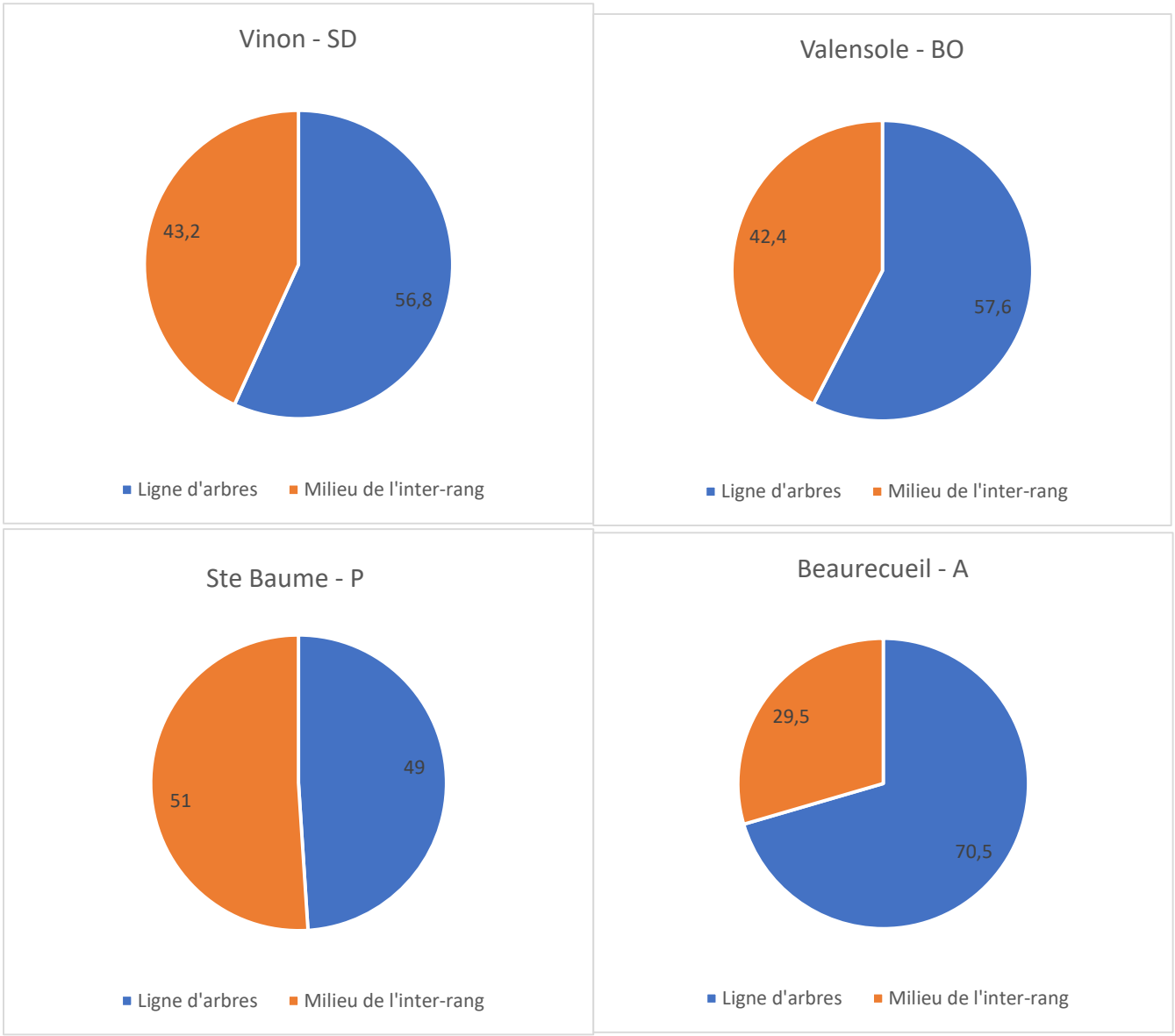




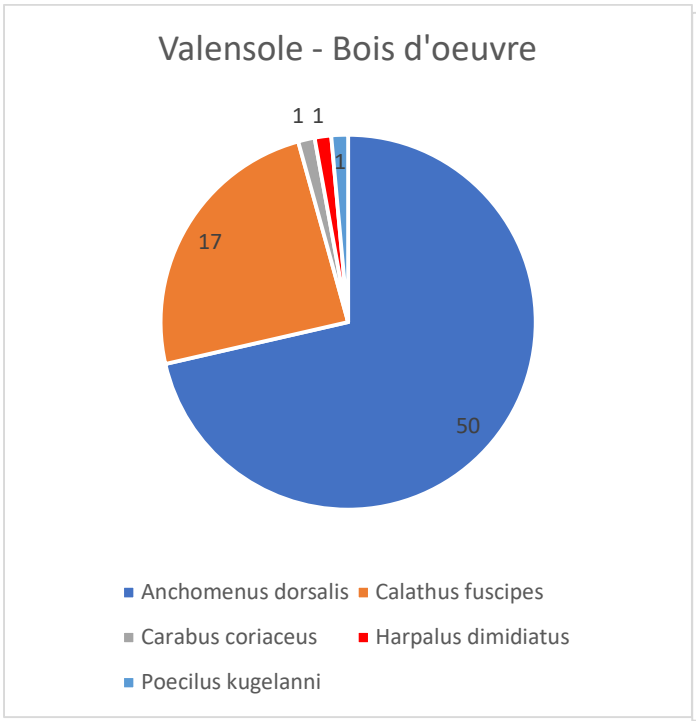
Annexe 10: proportion de carabes au sein des modalités « Lignes d'arbre » et « Mlilieu de l'inter-rang »

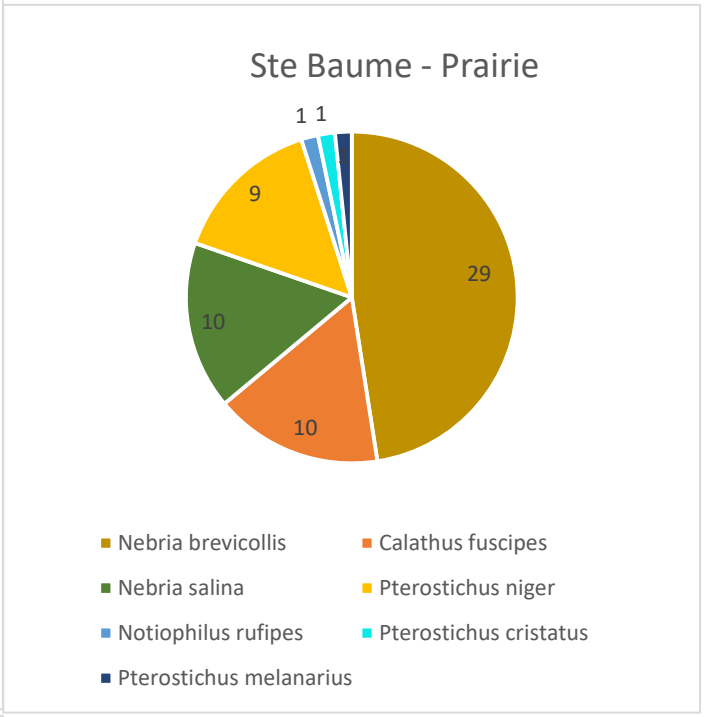


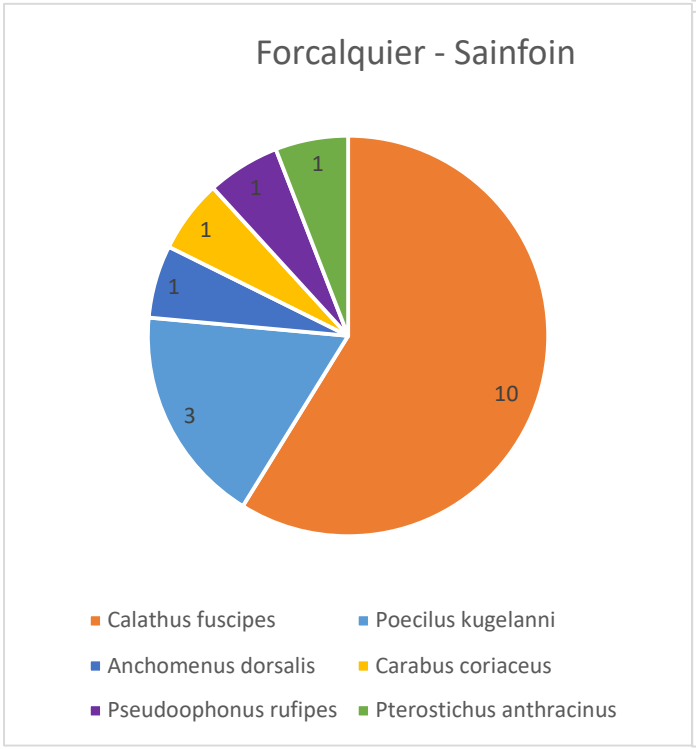
Annexe 11: proportion d'araignées au sein des modalités « Ligne d'arbres » et « Milieu de l'inter-rang »

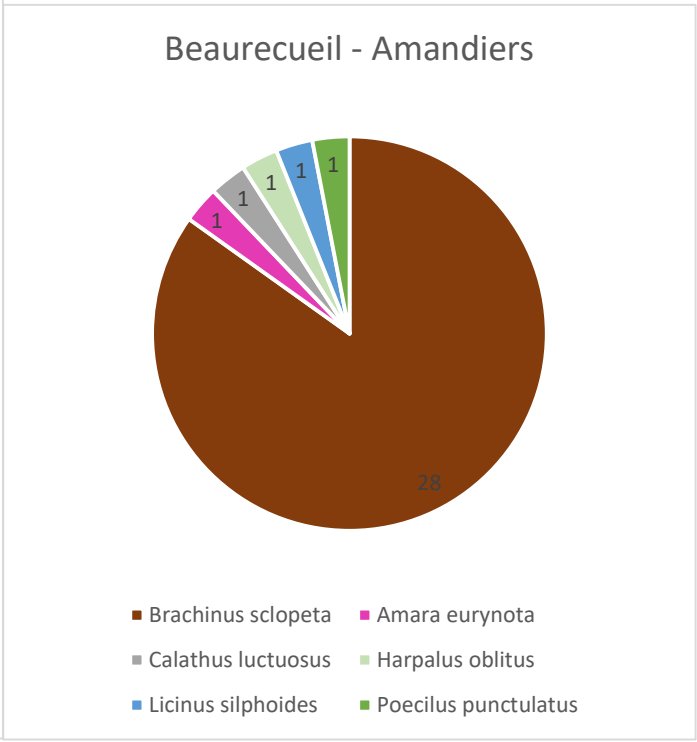


Annexe 12: Espèces de carabes et nombre d'individus capturés dans la modalité "élément paysager"









Résumé

L'agroforesterie est l'association d'arbre et des cultures et/ou élevage sur une même parcelle. Cette pratique agricole est pleine d'espoir pour l'avenir puisqu'elle répond à de nombreux enjeux par le stockage de carbone, une diversification des sources de revenu pour l'agriculteur, la protection des sols contre l'érosion et la préservation de la biodiversité.

L'étude fait partie d'un projet d'acquisition de références et d'accompagnement de l'agroforesterie à l'échelle régionale nommé SAM (Système Agroforestier Méditerranéen). Elle a pour objectifs de comprendre l'impact des lignes d'arbres sur 3 familles d'auxiliaires de cultures : carabes, araignées et staphylins, ainsi que d'étudier leur déplacement dans les parcelles agroforestières.

Des suivis ont été réalisés sur 5 parcelles en région PACA, au nombre d'un par mois entre avril et août. La présence de linéaires d'arbres avec des bandes enherbées semble influencer la biodiversité étudiée qui regroupe les staphylins, araignées et carabes. L'activité-densité des carabes et des araignées est toujours plus importante dans les linéaires d'arbres que dans les parcelles témoins étudiées. Pour la majorité des parcelles, elle est également plus importante dans la ligne d'arbres que dans le milieu de l'allée cultivée. La diversité en espèce de carabes est également plus riche dans les milieux arborés tels que les lignes d'arbres et l'élément paysager arboré en bordure de parcelle.

Abstract

Agroforestry is the association of trees and crops and/or livestock on the same plot. This agricultural practice is full of hope for the future as it responds to many challenges by storing carbon, diversifying the farmer's sources of income, protecting the soil against erosion and preserving biodiversity.

The study is part of a project to acquire references and support agroforestry on a regional scale called SAM. Its objectives are to understand the impact of tree lines on three families of crop protection agents: carabid beetles, spiders and staphylins, as well as to study their movement in agroforestry plots.

Monitoring was carried out on 5 plots in the PACA region, one per month between April and August. The presence of tree lines with grass strips seems to influence the biodiversity studied, which includes staphylines, spiders and carabid beetles. The activity-density of carabid beetles and spiders was always higher in the tree lines than in the control plots studied. For most plots, was also higher in the tree line than in the middle of the cultivated lane. Carabid species diversity was also higher in the treed environments such as the tree lines and the tree-lined landscape element at the edge of the plot.

Resumen

Agroforestería es la asociación de árboles y cultivos y/o ganado en la misma parcela. Esta práctica agrícola está llena de esperanza para el futuro, ya que responde a muchos desafíos al almacenar carbono, diversificar las fuentes de ingresos del agricultor, proteger el suelo contra la erosión y preservar la biodiversidad.

El estudio forma parte de un proyecto de adquisición de referencias y apoyo a la agroforestería a escala regional denominado SAM (Système Agroforestier Méditerranéen). Sus objetivos son comprender el impacto de las líneas de árboles en tres familias de agentes de protección de cultivos: escarabajos, arañas y estafilinas, así como estudiar su movimiento en parcelas agroforestales.

El seguimiento se realizó en 5 parcelas de la región PACA, una por mes entre abril y agosto. La presencia de líneas de árboles con franjas de hierba parece influir en la biodiversidad estudiada, que incluye estafilococos, arañas y escarabajos carábidos. La densidad de actividad de escarabajos y arañas carábidas fue siempre mayor en las líneas de árboles que en las parcelas de control estudiadas. En la mayoría de las parcelas, también era mayor en la línea de árboles que en el centro del carril cultivado. La diversidad de especies de carábidos también fue mayor en los entornos arbolados, como las líneas de árboles y el elemento de paisaje arbolado en el borde de la parcela.