



HAL
open science

Méthodes d'observation des communautés végétale et entomologique des vignobles en contexte méditerranéen.

Léo Boulais

► **To cite this version:**

Léo Boulais. Méthodes d'observation des communautés végétale et entomologique des vignobles en contexte méditerranéen.. Biodiversité et Ecologie. 2022. hal-04808827

HAL Id: hal-04808827

<https://hal.inrae.fr/hal-04808827v1>

Submitted on 28 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

RAPPORT DE STAGE

BOULAIS Léo, dans le cadre du stage de **2^e année** :

Stage effectué du 23/05/2022 au 31/08/2022

UMR LISAH

Bat 24, 2 place Pierre Viala

34060, Montpellier

Sur le thème :

Méthodes d'observation des communautés végétale et entomologique des vignobles en contexte méditerranéen.



Enseignant référent responsable : Bruno COLAS

Maîtres de stage : Fabrice VINATIER, Martin FAUCHER

Engagement de non plagiat

Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

Sanction

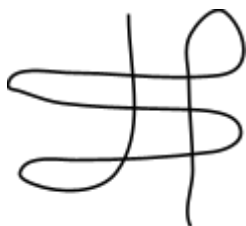
En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réserve le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

Engagement

Je soussigné Léo Boulais reconnais avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non-plagiat.

A Montpellier le 23/08/2022

Signature :



Résumé

Ce rapport récapitule toutes les méthodes mises en œuvre pour étudier la biodiversité végétale et entomologique de deux vignobles de l'Hérault, afin de comprendre l'impact d'une modification des ressources en eau suite au changement climatique sur cette biodiversité. Une grande diversité entomologique au niveau des taxons (lépidoptères, hémiptères, coléoptères, hyménoptères, hétéroptères, diptères) ainsi que des arachnides et des crustacées a pu être échantillonnée pour des analyses futures et pour le développement d'un logiciel d'identification d'insectes à partir de photographies. L'importance des insectes dans le déplacement des graines, et particulièrement celle des fourmis, a été remarquée au cours du stage. Un protocole de mesure de la myrmécochorie a été mis en place, les choix qui en ont été à l'origine sont présentés dans ce rapport. Une étude de la biodiversité végétale potentielle (banque de graines) et réalisée en champ a permis d'élaborer une banque de données liant la topographie, les pratiques culturales, la localisation géographique avec les espèces végétales présentes. Une analyse des communautés végétales potentielles en vignoble (88 espèces recensées) permet de mieux comprendre l'effet de la pratique de l'enherbement spontané et du mode de gestion de cet enherbement sur les semences du sol. 4 adventices majeures ont pu être identifiées, ce qui pourra servir aux choix culturaux des agriculteurs concernés.

Abstract

This report summarizes all the methods used to study the plant and entomological biodiversity of two vineyards in Hérault, France, to understand the impact of changes in water resources on this biodiversity as a result of climate change. A large entomological diversity of taxa (Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, Heteroptera, Diptera) as well as arachnids and crustaceans were sampled for future analysis and for the development of insect identification software based on photographs. The importance of insects in the movement of seeds, and particularly that of ants, was noted during the internship. A protocol to measure myrmecochory was set up, and the choices that led to this protocole are presented in this report. A study of potential plant biodiversity (seed bank) and effective plant biodiversity in the field made it possible to develop a database linking topography, cultivation practices and geographical location with the plant species present. An analysis of potential plant communities in the vineyard (88 species recorded) provides a better understanding of the effect of the practice of spontaneous grassing and the management of this grassing on the seeds in the soil. 4 major weeds were identified, an information which could be used in the cultivation choices of the farmers concerned.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier toutes les personnes qui m'ont accompagné au cours de mon stage :

Fabrice Vinatier, mon maître de stage, pour la diversité des missions que tu m'as confiées et l'autonomie que tu m'as donné pour les réaliser. C'était une superbe expérience de travailler avec toi !

Martin Faucher, pour nos sorties botaniques en plein soleil, 2 inter rangs, 4 inter rangs, 6 inter rangs... Tu seras un super encadrant, j'en suis certain !

Gabrielle Rudi et Benoît Ricci, pour nos sorties botaniques et entomologiques respectivement,

Pauline Martin, sans qui le travail de détermination des plantules et des herbes séchées en champ aurait été bien plus long,

Tout le personnel du LISAH, pour les réponses à mes questions, pour le matériel fourni et la bonne humeur,

Tous mes collègues stagiaires et doctorants, pour l'ambiance chaleureuse et conviviale qui a régné durant tout mon stage.

Sigles et abréviations

ANN : Artificial Neural Network (Réseau Neural Artificiel en français)

CNN : Convolutional Neural Network (Réseau Neural Convolutif en français)

GANs : Generative Adversarial Networks (Réseaux Adverses Génératifs en français)

INRAE : Institut National de la Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

KNN : K-Nearest Neighbors (K plus Proches Voisins en français)

LISAH : Laboratoire d'étude des Interactions Sol, Agrosystème, Hydrosphère

NB : Naive Bayes (classification Naïve Bayésienne en français)

SVM : Support Vector Machine (Machine à Vecteur de Support en français)

UMR : Unité Mixte de Recherche

Table des matières

Résumé	1
Abstract	1
Remerciements	2
Sigles et abréviations	2
Table des matières	3
Introduction	4
I - Présentation de la structure d'accueil	5
II - Matériels et méthodes	7
1 - Présentation des deux zones d'étude	7
a - Localisation des sites	7
b - Caractéristiques générales des deux sites	8
2 - Détermination par imagerie des insectes des vignobles suite à leur capture sur le terrain	10
a - Protocole d'échantillonnage	10
b - Etat de l'art	11
3 - Dispersion des graines par les fourmis	14
a - Protocole de suivi	14
b - Choix des graines	15
4 - Suivi de la germination de la banque de graines des sols de vignoble	18
5 - Relevés floristiques dans les inter rangs et les fossés des vignobles	20
a - Protocole d'échantillonnage général	20
b - Protocole pour l'expérience sur l'humidité du sol	20
c - Protocole pour la comparaison entre la banque de graine et la flore réalisée	21
III - Résultats & Discussions	21
1 - Biodiversité végétale potentielle et réalisée	21
2 - Dispersion des graines par hydrochorie et myrmécochorie	27
3 - Détermination par imagerie des insectes des vignobles	27
4 - Retours sur mon stage dans mon parcours professionnel	28
Conclusion	29
Bibliographie	30
Annexes	35

Introduction

Nous vivons actuellement la 6e extinction de masse sur Terre, provoquée par les activités humaines (Wagler, 2017) : déforestation, pollution, acidification des océans, surpêche, destruction de zones humides, les causes de la disparition ou de la diminution des effectifs des espèces sauvages sont nombreuses. Parmi elles, l'agriculture, responsable notable des changements d'habitats (Garric, 2017), est une activité humaine qui utilise désormais près de 40% des terres émergées de la planète (FAO, 2020) du fait de l'augmentation des populations humaines. Ses répercussions sur l'environnement sont donc importantes et il convient de s'interroger sur les moyens que nous pouvons mettre en œuvre pour permettre à cette pratique de respecter le monde vivant. Le monde agricole prend part activement à la crise de la biodiversité mais fait dans le même temps face à d'autres crises : le changement climatique, qui entraîne une raréfaction de l'eau disponible, des épisodes climatiques plus intenses à l'origine de sécheresses, d'érosion éolienne ou de pertes de sols, et le changement global, entraînant des problèmes d'approvisionnement de matières premières (engrais, semences, matériel agricole...).

L'agriculture est donc cause et victime de ces crises qui pourraient profondément bouleverser le fonctionnement des sociétés humaines. Il est désormais temps de s'interroger sur les façons dont l'agriculture pourrait répondre à ces crises : diminuer ses impacts néfastes sur les émissions de gaz à effet de serre et sur la perte de biodiversité, tout en garantissant une durabilité des productions agricoles et une résilience des agroécosystèmes.

L'exploitation de l'ensemble des espaces interstitiels des paysages agricoles est une voie possible d'amélioration de la résilience des agroécosystèmes (Tixier, 2013 ; Rudi, 2018). En effet, les surfaces productives sont séparées par de nombreux habitats semi-naturels, non productifs, comme les inter-rangs de cultures pérennes, les bordures de parcelles (haies, fossés, talus), etc. Il existe des échanges de matériel biologique (végétaux, animaux) entre ces milieux productifs et non productifs, à l'origine de nombreux services et disservices paysagers qu'il convient d'étudier. En milieu méditerranéen en particulier, considéré comme un hot-spot de biodiversité à l'échelle mondiale, le potentiel impact de ces échanges est particulièrement important.

En France, en 2019, les vignobles représentaient 3,7% des superficies agricoles nationales, soit 11% des superficies mondiales de vignes (Comité National des Interprofessions de Vin, 2019). Les pratiques agricoles en viticulture sont très consommatrices de produits phytosanitaires : 20% des pesticides utilisés en France le sont pour la viticulture (Morghadi, 2018) et la pratique du sol nu en inter rang de vigne est encore courante. Ces deux pratiques ont des répercussions importantes sur la biodiversité et le

changement climatique, mais on manque encore de données et de méthodes d'observation pour étudier ces répercussions sur le long terme. Il s'agit donc, dans ce stage, d'étudier diverses méthodes d'observation innovantes et robustes permettant d'appréhender la biodiversité animale et végétale des milieux viticoles méditerranéens face au changement climatique.

Je présenterai dans un premier temps mon organisme de stage : l'UMR LISAH, basée à Montpellier, un laboratoire spécialisé sur les thématiques de la pédologie et de l'hydrologie. Au cours des dernières années, un virage a été amorcé pour orienter les recherches sur les questions de biodiversité, de la gestion par les agriculteurs des milieux semi naturels comme les fossés et de la modification des pratiques agricoles pour être en mesure d'atténuer et de s'adapter au changement climatique. Dans un second temps, j'expliquerai les différentes expériences auxquelles j'ai participé et qui permettent de mieux comprendre le fonctionnement de la biodiversité des vignobles. La biodiversité entomologique est caractérisée par des populations d'espèces très différentes rendant des services variés aux agriculteurs. Ainsi, son étude rend nécessaire la mise en place de suivis automatisés dans les vignobles. Parmi les insectes, les fourmis méditerranéennes ont un lien très particulier avec la flore : elles aident à la dispersion des graines sur plusieurs dizaines de mètres, une expérience que j'ai mise en place vise à mieux comprendre les modalités de cette dispersion dans les vignobles. Enfin, concernant la flore, j'ai été amené à l'étudier sous deux modalités : la flore potentielle des vignobles, présente sous forme de semences dans le sol, et la flore réalisée, présente dans les parcelles.

I - Présentation de la structure d'accueil

Le LISAH, Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol - Agrosystème - Hydrosphère, s'intéresse aux fonctionnements complexes qui ont lieu dans les agrosystèmes ; le but est de comprendre ce qui relie la production végétale et les ressources naturelles sur lesquelles elle se base : l'eau et le sol, la ressource air n'est que très peu étudiée au sein de ce laboratoire.

Concernant l'implantation géographique de ce laboratoire, son siège est situé à Montpellier, au campus de la Gaillarde et il en existe une antenne à Tunis, dans les locaux de l'INAT et l'INRGREF. Ils ont participé à des études en Tunisie, au Maroc, aux Antilles, en Inde, au Kenya, au Liban, au Vietnam et au Brésil. Le laboratoire travaille à l'échelle des paysages, et concernant l'eau, à l'échelle des bassins versants : en France, c'est celui de la Peyne, avec le bassin élémentaire de Roujan et en Tunisie, celui du Lebna, avec comme bassin élémentaire celui du Kamech. L'eau est étudiée depuis les nappes superficielles jusqu'à la basse atmosphère concernant la dimension verticale.

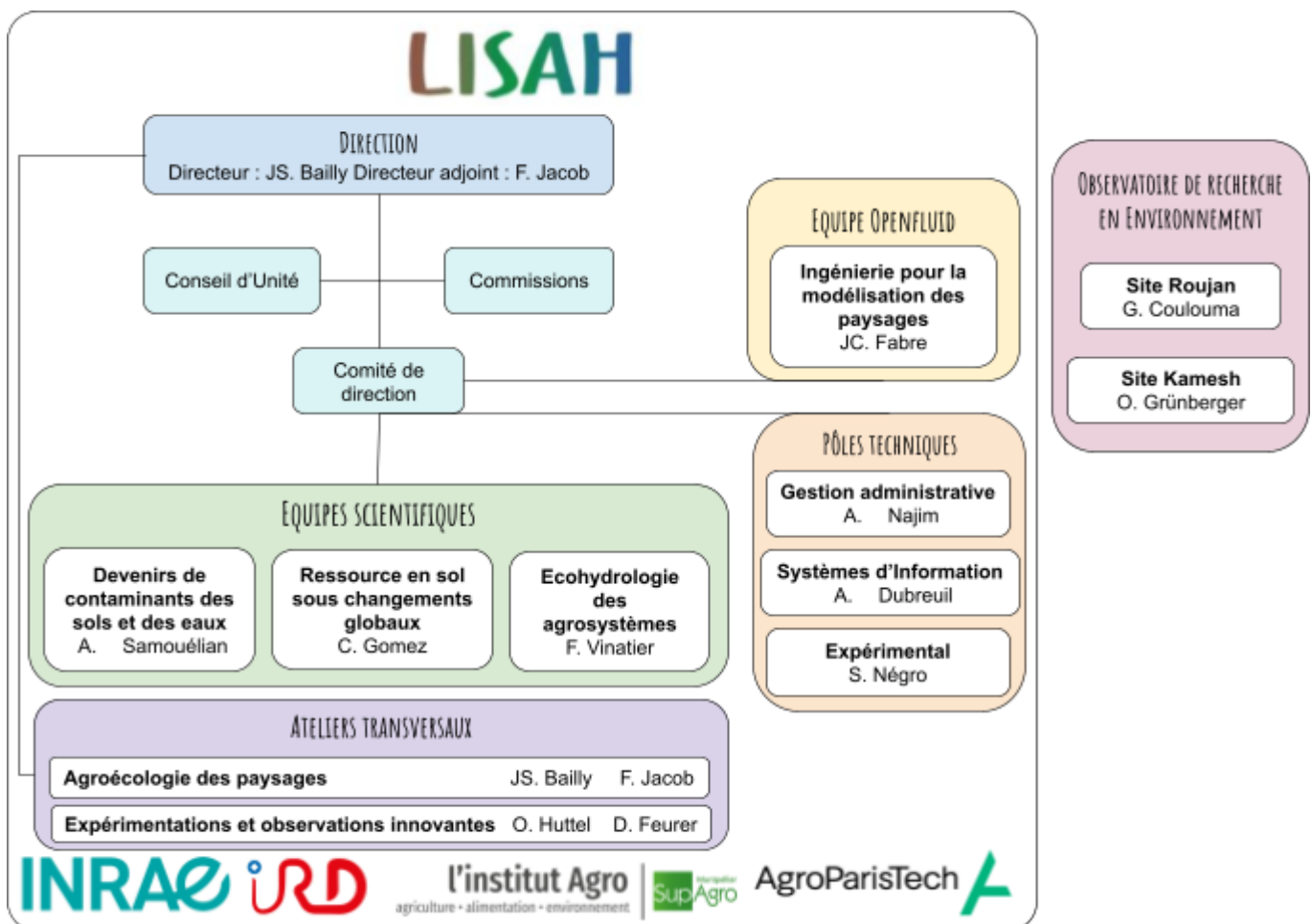


Figure 1 : Organigramme du LISAH. Il y a deux sites principaux pour la recherche sur le terrain, ainsi que de nombreux autres endroits pour des expériences plus ponctuelles.

Le projet scientifique du laboratoire, qui se décline ensuite au sein des différentes équipes, concerne la compréhension des trois fonctions principales des paysages cultivés : la distribution et l'utilisation d'eau bleue et verte pour la production végétale, la conservation de la ressource en sol et la régulation des dynamiques de polluants. Le laboratoire est organisé de la façon présentée ci-dessus, avec une équipe mixte INRAE, IRD, institut Agro et AgroParisTech composée de 25 chercheurs et enseignants chercheurs, 22 techniciens et ingénieurs, 9 doctorants et 11 stagiaires durant l'été 2022.

Lors de mon stage, j'ai travaillé avec l'équipe d'Ecohydrologie des agrosystèmes, en grande partie pour accompagner le travail de Martin Faucher, actuellement en 1ère année de thèse. Il s'intéresse aux communautés végétales des espaces non cultivés de la vigne (inter rangs, bordures et fossés) et les déplacements de leurs graines depuis la banque de graines du sol jusqu'à leur dispersion par hydrochorie ou myrmécochorie. Le but est de savoir les bénéfices qu'une végétalisation de ces milieux aurait pour l'agriculture. Mon travail a grandement consisté en l'accumulation de données pour la suite de sa thèse : données d'arrachage de plantules en serre, données d'identifications de végétaux dans les vignobles, mais aussi de la bibliographie pour, à terme, pouvoir automatiser la détermination des végétaux des vignobles. J'ai aussi été amené à corriger les bases de données ainsi créées, à les modifier pour les rendre plus faciles à analyser et à vérifier la validité des résultats qui étaient parfois incohérents, selon les principes FAIR (Findability, Accessibility, Interoperability, and Reuse).

Ces milieux semi naturels sont gérés actuellement et en grande majorité de manière intensive (désherbage chimique, labour), pour limiter la compétition hydrique avec la vigne. De plus, des discussions avec des viticulteurs nous ont fait comprendre que les plantes qui poussent dans l'inter rang, renvoient à une notion de saleté de la parcelle, pour beaucoup, une parcelle agricole doit être propre, c'est-à-dire exempte de mauvaises herbes. Un de ses projets, auquel j'ai participé et que je vais développer par la suite, concerne la création d'un laboratoire automatisé de suivi de la vigne et de la biodiversité qui l'accompagne. Ce projet, nommé MOMAC, vise à assurer le suivi phénologique de la vigne : croissance des sarments, dilatation du tronc, pousse des feuilles, attaques de maladies ou croissance du raisin, ainsi que le suivi de la biodiversité proche de la vigne : la flore des inter rangs est photographiée tous les jours et des déterminations d'insectes auront lieu régulièrement. Une autre stagiaire, Pauline Martin, a été embauchée pour étudier les liens entre la végétation des inter rangs et des fossés et l'hygrométrie des sols.

Mon travail au LISAH a donc consisté en de nombreuses missions, à vocation majoritaire de collectes de données pour des projets qui ne font que commencer : la thèse de Martin Faucher et le projet MOMAC. Mon stage se déroulant en 2 parties, la première de mai 2022 à août 2022, pour mon stage de 2e année d'école d'ingénieur, et la deuxième en septembre 2022 pour mon stage de césure, ce rapport va

surtout traiter des collectes de données et des résultats préliminaires les concernant. La saison de végétation et de développement des insectes s'effectuant durant tout le printemps et l'été, je n'ai eu que très peu le temps d'analyser les données, ce que je ferai durant le mois de septembre, pour mon premier stage de césure.

II - Matériels et méthodes

1 - Présentation des deux zones d'étude

a - Localisation des sites

Tous les relevés botaniques, ainsi que les relevés entomologiques ont été effectués dans deux vignobles de l'Hérault distant d'environ 40 km. Les critères de choix de ces deux vignobles vont être abordés dans la partie suivante.



Figure 2 : Emplacement des deux zones d'étude, le domaine de la Jasse à Combaillaux, et le vignoble de Roujan (Géoportail).

b - Caractéristiques générales des deux sites

Le domaine de la Jasse a été créé dans les années 60 par des pieds noirs de retour d'Algérie. Avant cela, le paysage était constitué de garrigues où le pâturage extensif ovin était pratiqué depuis longtemps. Un important travail d'arrachage d'arbres puis de façonnage des parcelles au tractopelle a eu lieu, des fossés ont été rectifiés pour évacuer rapidement l'eau issue des pluies cévenoles qui tombent en

abondance en automne. En 2013, le domaine a été le premier de l'Hérault à recevoir la certification HVE, il s'est depuis engagé dans de nombreuses actions visant à diminuer ses impacts sur l'environnement : plantation de haies, suivi de populations de chiroptères, carabes, vers de terre, pratique de l'inter rang enherbé. Les sols sont argilo-calcaire à calcaire, avec une épaisseur variable sur les parcelles : de 20 cm à 50 cm. Autour du domaine, la garrigue est omniprésente, avec des reliefs assez marqués, caractéristiques des contreforts des Cévennes. Le partenariat entre le domaine et le LISAH est très récent et remonte à un an. La parcelle que nous avons étudiée principalement se situe sur le flanc ouest d'un relief, elle est constituée d'un plat d'une soixantaine de mètres sur le haut du relief, suivi d'une pente de 45 mètres de

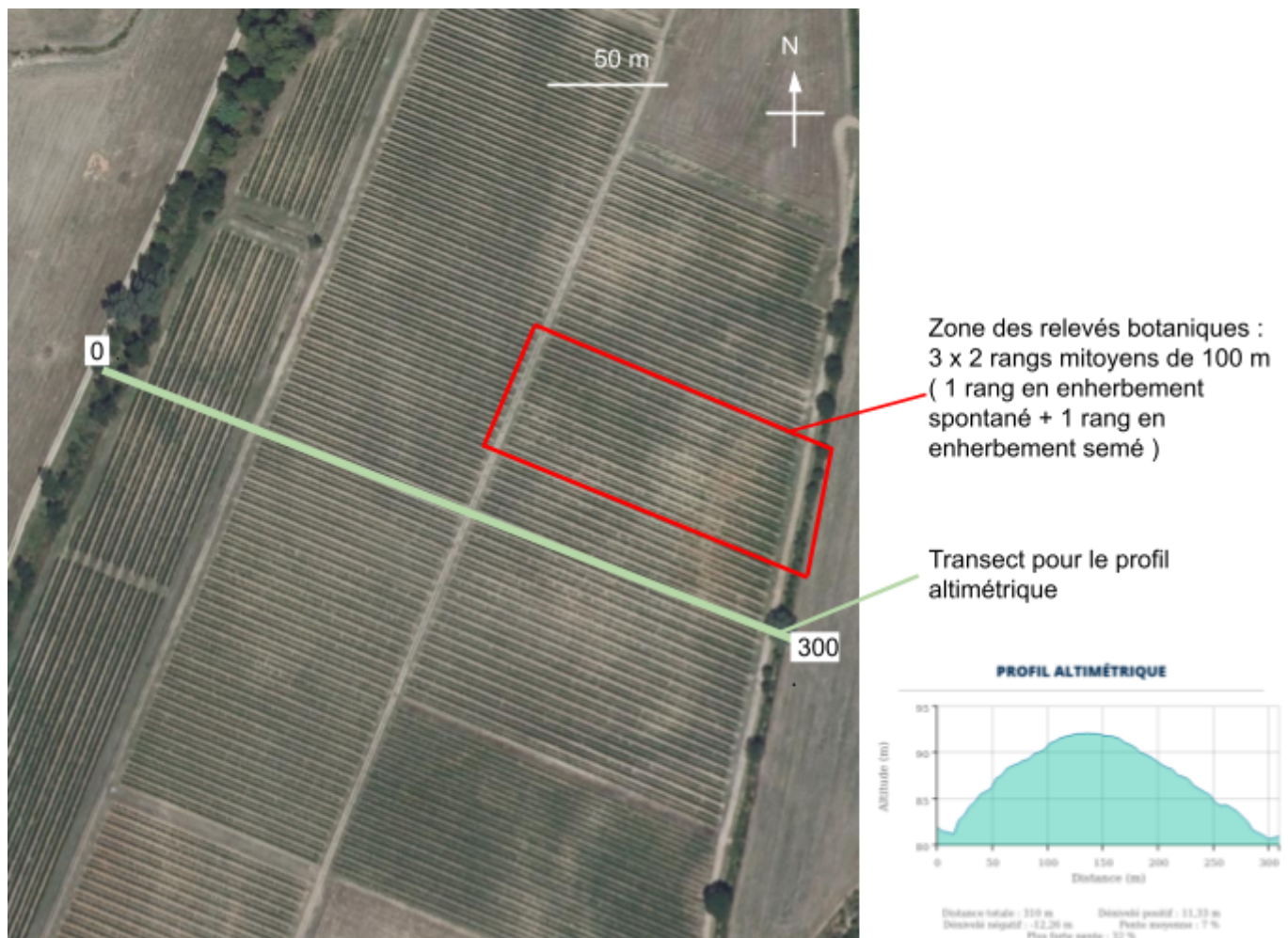


Figure n° 3 : Localisation de la parcelle d'étude du domaine de la Jasse et information sur l'altimétrie (Géoportail, 2021, résolution de 20 cm).

long et d'un replat d'environ 5 à 10m de long. Un chemin agricole sépare la parcelle du fossé en contrebas. Les inter rangs sont gérés par fauchage l'été, afin de ne pas détruire la structure du sol, qui est très sec et peu épais, en zone pentue, et donc très soumis au phénomène d'érosion éolienne et hydrique. Un inter rang sur 2 est labouré une fois en hiver, puis est semé.

A Roujan, la pratique de la viticulture date de plusieurs siècles. La déprise agricole a amené des agriculteurs à abandonner des parcelles, majoritairement situées sur les plateaux ou les pentes, elles sont désormais retournées à l'état de garrigue. Le réseau de fossés y est dense (55 km sur le bassin versant du Bourdic qui couvre 7.85 km²), l'occupation du sol est essentiellement pour la viticulture, il y a quelques parcelles de céréales et d'arboriculture. Il y a une grande diversité de pratiques culturales en vigne dans le bassin versant : pratique de l'inter rang enherbé, 1 rang sur 2, 2 rangs sur 3, pratique du sol nu. Concernant la gestion des adventices, le labourage des inter rang est majoritaire, le désherbage chimique est aussi pratiqué (la parcelle utilisée pour la banque de graines est gérée de cette manière) tout comme la fauche. Les sols y sont composés majoritairement de calcaire et de limons. Le LISAH travaille sur les parcelles de Roujan depuis 1992, et possède donc des données sur le long terme des concentrations en pesticides, de la pluviométrie, de l'utilisation des sols ou des changements de pratiques agricoles.



Figure n° 4: Localisation des parcelles de relevés botaniques dans le bassin versant de Roujan, au niveau de capteurs d'humidité du sol et profils altimétriques (Géoportail, 2021, résolution de 20 cm).

Ces deux vignobles présentent donc des modalités variées : que ce soit au niveau de l'âge du vignoble, ce qui va influencer sur la biodiversité présente dedans, au niveau des pratiques de gestion de la flore (et indirectement des insectes) qui vont conditionner la végétation capable d'y pousser, au niveau des sols, des reliefs, de l'environnement naturel et de la densité du vignoble, qui va permettre ou non la dispersion de graines de plantes adaptées à ces environnements. Ces flores sélectionnées par l'environnement et les agriculteurs vont sélectionner en retour les espèces d'insectes, capables de vivre dans ces agrosystèmes. L'un des buts du projet MOMAC est d'étudier cette faune.

2 - Détermination par imagerie des insectes des vignobles suite à leur capture sur le terrain

a - Protocole d'échantillonnage

Comme expliqué dans la partie I, le projet MOMAC, MOnitoring Mediterranean Agro-ecosystems responses to Climate change: from field to landscape scale, vise à effectuer un suivi phénologique précis de la vigne, ainsi que de la biodiversité végétale et animale des inter rangs, dans le cadre du



Figure n° 5: Protocole de relevé entomologique des insectes du sol et préparation des échantillons en laboratoire (Photos de Léo Boulais).

réchauffement climatique. Concernant le suivi de la faune du sol, nous avons mis en place un réseau de pièges barber dans les inter rangs enherbés et travaillés de différentes parcelles de vigne, ainsi que dans les bordures de leurs fossés, en suivant le protocole SEBIOPAG harmonisé à l'échelle nationale. Les pots étaient remplis à moitié d'un mélange d'eau, de liquide vaisselle et de sel, pour que les insectes tombent au fond du pot et soient tués directement. Au bout de 3 jours, les pots ont été récoltés et ramenés au

laboratoire. Nous avons d'abord lavé le contenu des pots pour en retirer les fragments végétaux, puis nous avons trié les insectes (dans deux catégories : fourmis et autres) et les avons mis en tube dans de l'éthanol à 70° pour les conserver en attente d'identification par un logiciel (Annexe 3).

Une originalité du protocole, par rapport à Sebiopag, est d'utiliser l'imagerie pour archiver et identifier les taxons présents. Le contenu des pots va donc être photographié dans des boîtes de pétri, afin d'obtenir des images qui seront analysées par une intelligence artificielle de reconnaissance d'insectes qu'il va falloir réaliser. Une de mes missions de stage a donc été d'effectuer un état de l'art des méthodes de suivi et de détermination des insectes dans les agrosystèmes par l'intelligence artificielle.

b - Etat de l'art

Pour effectuer cet état de l'art, je me suis appuyé sur divers ressources : la première a été Mendeley, un site regroupant une grande partie des articles scientifiques écrits dans le monde, Researchgate m'a été utile pour avoir accès à des articles non disponibles sur Mendeley, je me suis aussi appuyé sur les recherches que j'avais déjà faites sur ce sujet au cours de l'unité à choix BSTIE de 2e année. Enfin, des recherches sur internet m'ont permis d'accéder à des sites d'entreprises spécialisées dans le suivi des populations d'insectes dans les champs. Tout mon travail a fait l'objet d'un rapport dont je vais présenter les points principaux dans cette partie.

Tout d'abord, concernant les méthodes de prélèvement des insectes, les entomologistes ont développé de nombreuses techniques, leur permettant de s'adapter aux différents habitats et modes de déplacement des insectes qu'ils visent pour les attraper de façon active (Annexe 1). Celles-ci sont cependant chronophages, nécessitent un savoir-faire et du matériel de précision, ainsi que des spécialistes qui se font de plus en plus rares. Des méthodes dites passives, moins coûteuses en main d'oeuvre, utilisent des pièges, laissés dans l'environnement naturel, où les insectes vont être attirés ou non : une sélectivité est possible selon les modes de transport et la façon dont les insectes s'orientent dans l'espace et sont attirés par des odeurs / couleurs / habitats (Annexe 2). Ces dernières années, des méthodes visant à automatiser le piégeage ont été développées : des pièges sont laissés dans l'environnement, et traitent en plus les données relatives aux insectes : nombre, biomasse, espèce ou encore abondance au cours du temps. Le projet Lepinoc (Noé, 2022), visant à mieux connaître les papillons nocturnes et à mieux les protéger a permis la création d'un piège photographique non létal permettant d'identifier et de quantifier les populations de lépidoptères nocturnes. En un mois, ce piège a photographié plus de 3200 lépidoptères nocturnes. Le projet Diopsis au Pays-Bas (Diopsis, 2020) a créé un scanner à insecte, constitué d'un écran de couleur attractive, d'une caméra et d'un logiciel de reconnaissance d'insectes, il est capable d'identifier et de quantifier la biomasse des insectes identifiés. Le KreyoMET trap (Kreyer, 2015),

développé par l'entreprise Kreyer est lui un piège delta (en tunnel) à phéromones qui permet de capturer préférentiellement les papillons de nuit ravageurs des cultures, ils sont pris en photo puis un logiciel d'identification permet par la suite de générer des cartes de vols des individus à l'échelle d'un ensemble de parcelles.

Pour déterminer le nom d'espèce, ou du moins le taxon d'appartenance des insectes capturés, il est nécessaire de les présenter d'une manière qui facilite la détermination. Je vais présenter une méthode qui se veut peu chronophage, les méthodes de présentations classiques nécessitent en effet trop de temps de préparation et ne sont pas adaptées à un suivi sur le long terme des populations d'insectes en champ. Cette méthode est qualifiée de "soupe d'insectes", elle permet de présenter tous les insectes prélevés à un endroit dans un bac rempli d'éthanol, où la prise de photographie est facilitée. Un logiciel est ensuite en mesure de délimiter (Mele, 2013) et d'identifier les insectes présents dans cette soupe (Insect, Museum d'Histoire naturelle d'Australie).

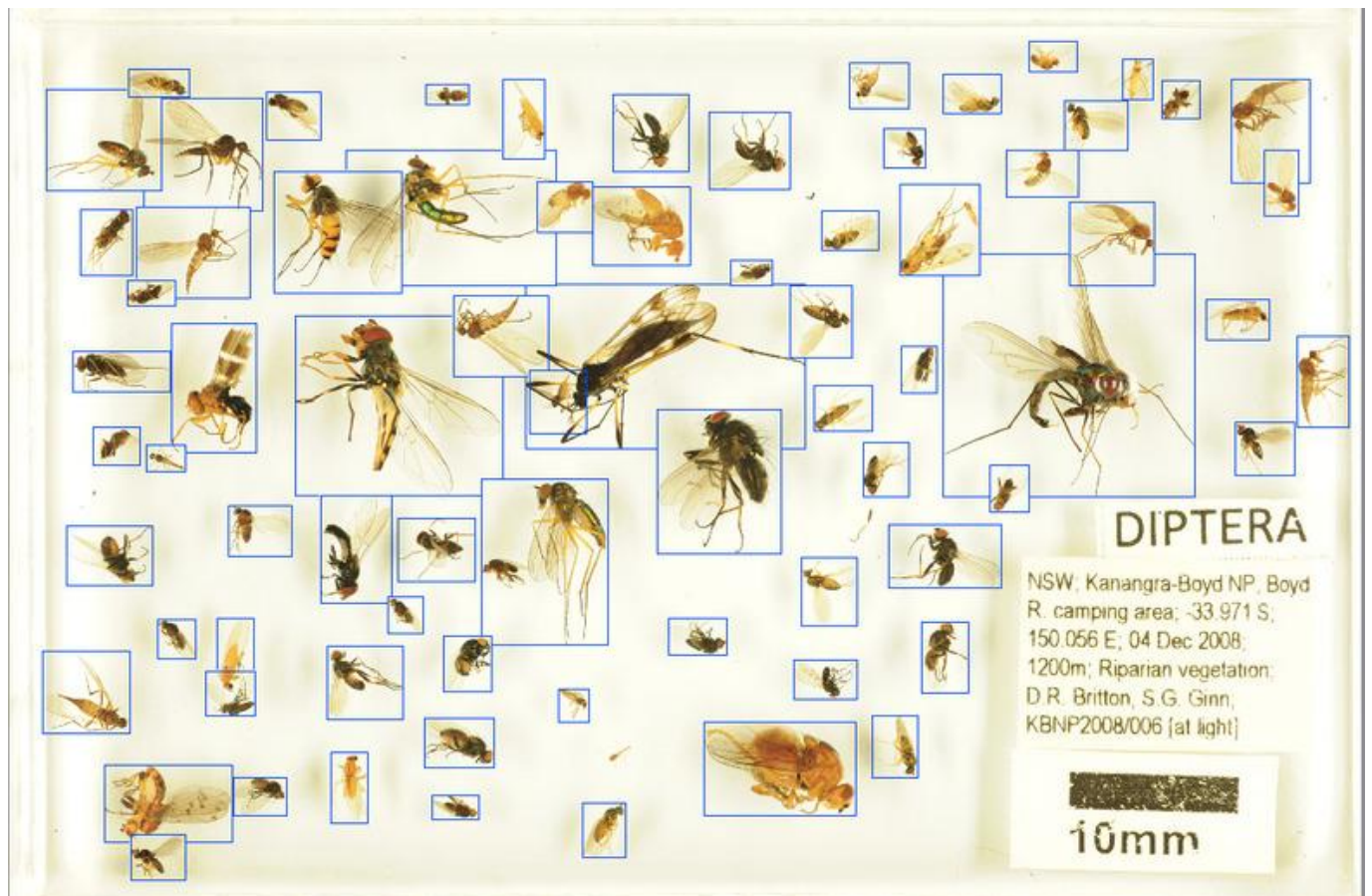


Figure n° 6: méthode de présentation d'insectes dans une soupe d'insectes (Insect).

Concernant les logiciels utilisables pour la détermination d'insectes, tous utilisent des techniques de d'intelligence artificielle, en particulier le machine learning et de deep learning. Dans la bibliographie que j'ai trouvée en ligne, différentes méthodes d'identification ont été développées :

- L'algorithme KNN permet d'associer par la méthode des k voisins, la photo avec des photos aux caractéristiques semblables. Il arrive ainsi à associer la photo à un nom, ou en tout cas à des probabilités que cet insecte appartienne à telle espèce. Il cherche à minimiser une distance moyenne entre les caractéristiques de l'insecte et les caractéristiques qu'il connaît de chaque insecte de sa base de données. Pour utiliser ce logiciel, il faut lui spécifier le nombre de voisins sur lesquels il peut s'appuyer pour la classification (autour de 10 souvent). La précision d'identification est d'environ 70 % - 75 %.

- Le classificateur bayésien (BN) peut permettre de classer la photo en utilisant des probabilités. Basé sur le théorème de probabilité de Bayes, il suppose l'indépendance entre tous les prédicteurs, il est utilisé pour des insectes ravageurs de la même culture, limitant ainsi le nombre de possibilités. La précision est autour de 40 % - 55 %

- Le support-vector machine (SVM) est un algorithme qui va chercher à classer les différentes caractéristiques de l'insecte dans un espace multidimensionnel (basé sur le nombre de caractéristiques qu'il extrait de la photo). La photo est ainsi représentée par un point dans un espace à k dimensions, l'insecte est ensuite classifié en trouvant l'hyperplan qui différencie le mieux les classes et qui va correspondre à une espèce d'insecte particulière. La précision se situe autour de 70 % - 80 %.

- L'algorithme Yolo ("You only look once") permet de classer et de compter les insectes sur une image en contenant plusieurs. Sa rapidité d'exécution lui permet d'analyser en direct un flux vidéo. Sa précision se situe autour de 50-60 % (Takimoto, 2021).

- Le Mask R-CNN permet de classer et de compter les insectes sur une image en contenant plusieurs. Le logiciel donne donc en sortie le nombre de chaque morpho espèce d'insecte identifié. La précision a été estimée à 99,4 %.

Le dernier algorithme s'appuie sur le principe des réseaux neuraux convolutifs, qui miment le fonctionnement des neurones humains pour permettre l'apprentissage à des machines. A la suite de ce rapport, nous avons décidé avec Fabrice Vinatier de pratiquer la technique de la soupe d'insectes pour l'identification des insectes récoltés sur le terrain. Une de mes missions pour ma deuxième partie de stage va donc être de commencer à réaliser le logiciel d'identification d'insectes et de prendre les photos de soupes d'insectes à partir des insectes que nous avons récolté sur le terrain.

Lors des relevés entomologiques et botaniques, nous avons constaté la présence de nombreuses fourmis dans les pots barber ainsi que des fourmis transportant des graines variées et les récoltant directement sur les plantes. Or dans le bassin méditerranéen, celles-ci sont très présentes et participent activement à la dispersion des graines de plantes (Arnan, 2010). Une expérience que j'ai réalisée a visé à quantifier le flux de graines dont les fourmis sont responsables.

3 - Dispersion des graines par les fourmis

a - Protocole de suivi

Lors des relevés botaniques que nous avons effectués sur le terrain, nous avons relevé la présence de nombreuses fourmis. Ainsi, au cours de mon stage est venue l'idée de mesurer la dispersion des graines par les fourmis, i.e. la myrmécochorie, via une expérience sur le terrain. Le but de cette expérience est de comprendre les déterminants intrinsèques (taille de la graine, pilosité, présence d'élaïosome (Czarnecka, 2005), forme de la graine (Del Toro, 2019)) et extrinsèques (pente, enherbement de la parcelle, présence de fourmis, espèces de fourmis (Arnan, 2010), flux d'eau) de la dispersion des graines en vignoble par les fourmis.

Un autre mode de dispersion des graines identifié dans la thèse de Martin Faucher est l'hydrochorie, les épisodes cévenoles qui ont lieu à l'automne autour de Montpellier sont susceptibles de faciliter la circulation des graines, d'abord en détachant les graines des plantes (ombrochorie), puis en favorisant leur



Fourmi *Messor barbarus* en train de récolter une gousse de lotier (Photo de Léo Boulais).



Fourmi *Messor barbarus* en train de transporter une graine de *Medicago minima* (Photo de Léo Boulais).

Figure n° 7 : Différents exemples de transport de nourriture par des fourmis du genre *Messor* dans les vignobles languedociens (Photographie de Léo Boulais).

dispersion latérale (hydrochorie). Une expérience à laquelle je vais participer dans ma deuxième partie de stage visera à mesurer les flux de graines suivant les flux d'eau. Concernant les autres modes de

dispersion des graines, l'absence de nombreux animaux à poils ou à plumes dans le vignoble rend compliquée la zoochorie et quant à l'anémochorie, elle est rendue compliquée par les fauches régulières des herbes dans les inter rangs. Cependant, elle pourrait être importante pour les plantes à floraison rapide ou pour la flore des fossés qui est moins travaillée. Des plantes envahissantes, comme les érigerons ou la cirse des champs, utilisent l'anémochorie comme moyen de dispersion et il serait pertinent de savoir comment cette dispersion s'effectue dans les vignobles, afin de la diminuer, ces plantes étant néfastes à la vigne selon les viticulteurs.

Pour mesurer la myrmécochorie, nous allons disposer 25 lots de 4 boîtes de pétri trouées latéralement pour éviter que les oiseaux ne mangent les graines et limiter la dispersion par le vent (Stuble, 2014), contenant 100 graines dedans. Les boîtes sont réparties sur les mêmes points de la toposéquence que pour les relevés botaniques sur un transect d'environ 100m (Leal, 2007). Toutes les heures, depuis le lever du soleil jusqu'au coucher du soleil, nous sommes allés observer combien de graines il restait dans chaque boîte, combien de fourmis partaient avec des graines, quelle était la distance à la fourmilière, quelle était l'espèce de fourmi ramassant les graines. Le but est d'établir un modèle basique de la myrmécochorie en vignoble. Nous avons considéré la myrmécochorie dans sa définition la plus large (Cateine, 2017): le transport de graines par les fourmis, regroupant le transport par les fourmis messicoles pour la consommation des graines et le transport des graines par des fourmis consommant uniquement les élaïosomes (myrmécochorie sensu-stricto).

b - Choix des graines

Pour savoir quelles graines utiliser pour l'expérience, j'ai effectué une comparaison entre différentes bases de données : j'ai cumulé les listes des relevés botaniques en champ et sous serre afin d'avoir la liste des plantes dont les graines sont potentiellement récoltées par les fourmis dans les vignobles de la Jasse et de Roujan. J'ai ensuite associé différentes bases de données de plantes myrmécochores du bassin méditerranéen :

- Publication de Joanna Czarnecka, 2005, liste de graines transportées par les fourmis dans différents écosystèmes méditerranéens.
- Publication de Tania de Almeida et al, 2020, liste de graines retrouvées dans des nids de fourmis en zone méditerranéenne.
- Site AcidFormik de myrmécophiles, liste des graines possédant un élaïosome en Europe.
- Observations de terrain : identification des graines transportées par les fourmis à partir de l'identification de la plante dont les graines provenaient.

J'ai obtenu une liste des plantes des vignobles méditerranéens dont les graines sont de façon très probables transportées et consommées par les fourmis.

Espèce ou genre	Famille
<i>Daucus carota</i>	Apiacées
<i>Calendula arvensis</i>	Astéracées
<i>Carduus</i>	Astéracées
<i>Cirsium</i>	Astéracées
<i>Sonchus oleraceus</i>	Astéracées
<i>Borago officinalis</i>	Boraginacées
<i>Knautia arvensis</i>	Caprifoliacées
<i>Euphorbia helioscopia</i>	Euphorbiacées
<i>Lotus glaber</i>	Fabacées
<i>Medicago minima</i>	Fabacées
<i>Trifolium campestre</i>	Fabacées
<i>Erodium cicutarium</i>	Géraniacées
<i>Geranium molle</i>	Géraniacées
<i>Aegilops ovata</i>	Poacées

Espèce ou genre	Famille
<i>Avena fatua</i>	Poacées
<i>Bromus</i>	Poacées
<i>Dactylis glomerata</i>	Poacées
<i>Holcus lanatus</i>	Poacées
<i>Hordeum murinum</i>	Poacées
<i>Poa annua</i>	Poacées
<i>Poa trivialis</i>	Poacées
<i>Setaria italica</i>	Poacées
<i>Setaria verticillata</i>	Poacées
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacées
<i>Clematis vitalba</i>	Renonculacées
<i>Potentilla</i>	Rosacées
<i>Galium</i>	Rubiacées
<i>Veronica</i>	Scrophulariacées

Tableau n° 1: espèces ou genres identifiés à la Jasse et Roujan dont les graines sont potentiellement utilisées par les fourmis pour leur alimentation. On peut observer une grande quantité de noms de poacées, c'est dû au fait que les fourmis du bassin méditerranéen sont majoritairement messicoles et se nourrissent de graines de poacées qu'elles transforment en une pâte dans la colonie.

Pour l'expérience, nous avons identifié 4 types de graines qui permettaient de couvrir de nombreuses propriétés concernant les facteurs de la dispersion des graines et qui pourraient aussi être utilisées pour l'expérience sur l'hydrochorie que je ne vais pas présenter dans ce rapport. La bibliographie sur ce sujet

évoquait un nombre d'espèces de graines de 4 (Del Toro, 2019). Le *Bothriochloa barbinodis* a été ajouté aux graines pour l'expérience sur l'hydrochorie, c'est une plante méditerranéenne dont les graines sont emportées par le vent, et dont les propriétés sont proches de celles de la vergerette du Canada, qui pose problème en vignoble. Ce choix a été fait pour ne pas impacter négativement avec des milliers de graines la parcelle où va se dérouler l'expérience.

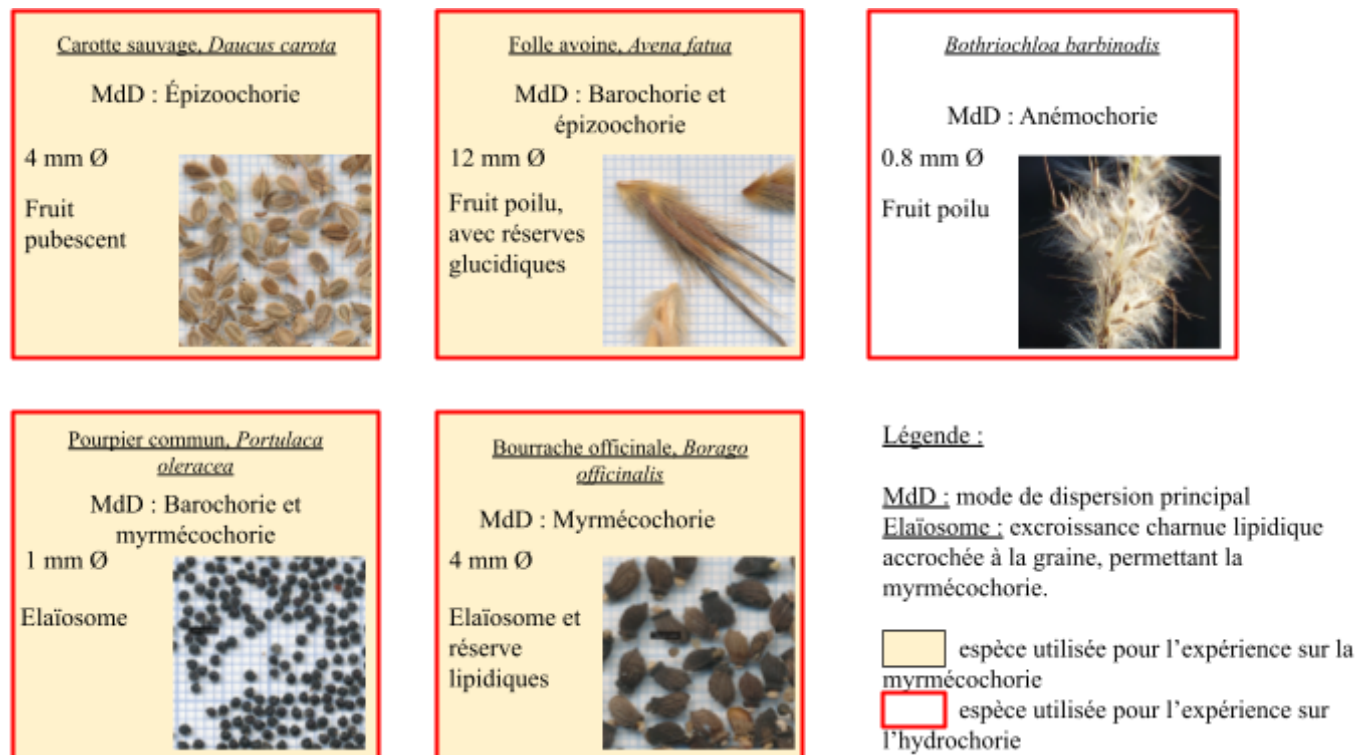


Figure n° 8 : présentation des 5 espèces utilisées pour les expériences, toutes se trouvent dans les relevés botaniques que nous avons effectués dans les vignobles (Photos de SeedForFree).

Les expériences pour comprendre le transport des graines apporteront aussi des réponses à la question de comment se forme la banque de graines du sol dans les vignobles méditerranéens. Dans le cadre de mon stage, j'ai donc aussi été amené à étudier la banque de graines des sols de vignoble : elle correspond à toutes les semences présentes dans la couche de sol superficielle (environ 10 cm), susceptibles de germer si elles sont mises dans des conditions propices par un labour ou une érosion du sol par exemple.

4 - Suivi de la germination de la banque de graines des sols de vignoble

Afin de mieux comprendre la composition de différentes banques de graines dans les sols de vignobles et des espaces semi-naturels associés, ainsi que de la comparer à la biodiversité végétale réalisée au même emplacement, 288 échantillons de terre ont été prélevés dans les parcelles et les fossés de Roujan et la Jasse. Pour choisir les parcelles à étudier, différents critères de sélection ont été utilisés : une pente

suffisamment élevée (pour corrélérer l'emplacement des graines au relief), des rangs (et inter-rangs) de vigne orientés dans le sens de la pente et une pente orientée vers un fossé de drainage recueillant le ruissellement de la parcelle, enfin l'accord du propriétaire de la parcelle a été indispensable.

Le prélèvement est effectué en surface, par une tarière de 10 cm de diamètre, sur une profondeur de 10 cm. La terre ainsi prélevée est ensuite mise dans un sachet individuel contenant un identifiant (numéro de parcelle, emplacement dans la toposéquence, sol travaillé ou non, numéro de répétition) pour être ramenée au laboratoire. Dans une boîte en plastique, pré trouée au fond, de dimension 205x170x75 mm, avec 300 ml de sable à enduire au fond pour le drainage, la terre est émiettée et débarrassée des éléments grossiers et des rhizomes. Une quantité de 200 ml de terreau est rajoutée sur la surface. Les boîtes ont été placées dans une serre climatisée, à environ 21°C, avec une humidité maintenue constante de 60%, l'éclairage était naturel (avec fermeture automatique des stores en cas de trop fort ensoleillement) et artificiel avec des lampes UV disposées au-dessus des bacs, ces dernières suivant un cycle nyctéméral.

L'arrosage se faisait manuellement tous les matins de la semaine avec un arrosage par bac compris entre 50 ml et 200 ml selon l'humidité de la terre. Le but est d'avoir des conditions idéales de germination : c'est -à -dire n'avoir aucune ressource limitante (eau, éclairage, nutriments), nous discuterons de ces choix par la suite. Tous les bacs sont photographiés une fois par jour à l'aide d'un appareil photo (Samsung Galaxy A52S, résolution 4000x3000 pixels) pour avoir un suivi de la croissance des plantes, faciliter l'identification post arrachage de plante et pour assurer une banque de données importante sur les plantules pour PlantNet.

Les plantules trop grandes sont arrachées et les arrachages sont consignés sur une feuille d'arrachage qui est ensuite mise en format numérique. Les plantules trop grands mais non identifiables sont mis dans des pots individuels pour une identification à un stade plus avancé de croissance. Pour l'identification, nous avons utilisés divers outils :

- Pl@ntNet : une application en libre service basée sur les sciences participatives, développée par un consortium de chercheurs montpellierains (Cirad, INRAE, Inria, et IRD) financés par le Labex Agro. Elle permet à partir d'une photographie de déterminer avec un pourcentage de certitude l'espèce de la plante photographiée. Cette application nous permettait d'orienter la détermination, nous pouvions ensuite la valider avec le guide de détermination.
- Le guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe : guide de détermination botanique, donne des informations sur les différentes parties de la plante, ses conditions écologiques. Ce guide nous permettait d'identifier les individus ayant suffisamment grandi en pot individuel et de nommer à posteriori des plantules arrachées.

- HYPPA : site internet développé par l'INRAE de Dijon, il nous apportait des informations nombreuses concernant les plantules des milieux agricoles. Grâce à une photo prise dans la serre, et avec la description précise de ce site des plantules, nous avons été en capacité d'identifier de nombreux plantules.

Concernant le traitement des images des boîtes, j'ai effectué leur tri par un programme sur R qui prenait les dossiers de photos où les 288 photos de la journée étaient. Le logiciel met ensuite les photos dans 288 dossiers différents correspondant au nom des 288 boîtes. Dans ces dossiers, les photos sont identifiées dans l'ordre chronologique par le nom année/mois/jour.

J'ai été amené à utiliser le logiciel XnView qui permet la modification d'images dans les fichiers de l'ordinateur car toutes les images n'avaient pas été prises dans le même sens, il a fallu effectuer une rotation sur certaines d'entre elles, afin que dans un sous dossier d'une boîte, toutes les photos soient avec la même orientation.

Nous avons dû stopper l'expérience fin juillet pour cause de maintenance de la serre durant le mois d'août. Afin de garantir l'impossibilité d'une germination des graines restantes dans les sols des boîtes, nous avons asséché les boîtes pendant une semaine en arrêtant de les arroser puis nous les avons déplacées dans une pièce sans lumière et au frais. Nous les avons ensuite déplacées dans une chambre froide en les ayant humidifiées auparavant afin de leur faire vivre un épisode de vernalisation d'un mois jusqu'à mi-septembre. Par cette manipulation, nous espérons que lorsque nous remettrons les boîtes en serre en septembre, des graines à germination printanière puissent de nouveau se développer afin d'épuiser au maximum la banque de graines du sol et de savoir ce qu'il y avait en totalité dedans.

Concernant le traitement des données issues des arrachages, j'ai effectué de nombreuses vérifications visant à réduire le nombre d'espèces mal identifiées en serre. En effet, comme nous avons utilisé Pl@ntnet et que nous avons été plusieurs arracheurs, suivant les dates d'arrachage, le nom d'espèce pour des même individus arrachés pouvait varier. Pour être sûr de ne pas fausser les données, j'ai donc comparé les relevés avec les photographies, ce qui m'a permis d'enlever 31 espèces sur un total de 129 espèces différentes identifiées.

5 - Relevés floristiques dans les inter rangs et les fossés des vignobles

a - Protocole d'échantillonnage général

Le protocole de suivi de la flore dans les inter rangs et les fossés était différent selon l'expérience réalisée pour le placement des quadrats mais similaire pour le reste du protocole. Il s'effectuait de la façon suivante :

- Pose du quadrat de 50 cm de côté pour délimiter la zone à identifier (au milieu du fossé, ou au milieu de l'inter rang), au-dessus du capteur.
- Prise de 3 photographies pour pouvoir modéliser en 3D le couvert végétal (à la verticale, et de biais des deux côtés).
- Qualification du sol (sol nu ou litière végétale morte)
- Détermination taxonomique à l'aide d'une flore consultée au préalable ainsi que de Pl@ntNet, des espèces végétales présentes dans le quadrat, en précisant si elles sont mortes (uniquement si elles sont encore sur pied, sinon elles pourraient avoir été apportées) ou encore vivantes, afin de mieux connaître la succession des communautés végétales dans le temps et selon l'hygrométrie du sol.

Selon l'expérience, les transects échantillonnés n'étaient pas les mêmes.

b - Protocole pour l'expérience sur l'humidité du sol

A Roujan, le but des relevés était de corréliser la biodiversité végétale à l'hygrométrie des sols des inter rangs et des fossés. Ainsi, 15 capteurs ont été placés à 30 cm de profondeur dans 6 inter rangs et 9 fossés. Toutes les deux semaines, depuis le mois de mai, et ce jusqu'au mois d'août, nous sommes allés faire un relevé au niveau des capteurs, le rajout au protocole générale est le déplacement du quadrat de 50 cm en amont 3 fois, et en aval 3 fois, afin d'avoir en tout 7 observations par capteur.

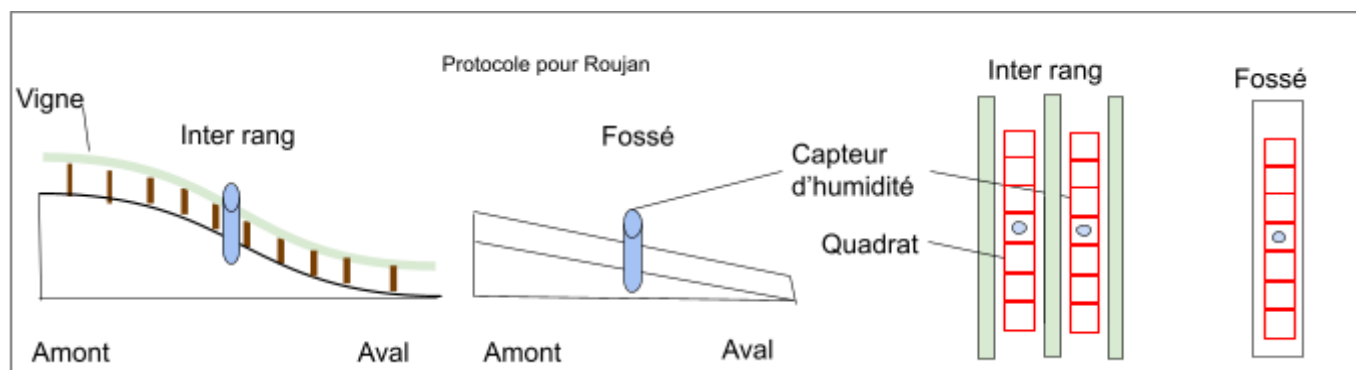


Figure n° 9 : Emplacement des relevés floristiques effectués à Roujan selon le milieu échantillonné.

c - Protocole pour la comparaison entre la banque de graine et la flore réalisée

A la Jasse, nous avons assuré le suivi de 6 inter rangs enherbés : 3 d'entre eux avaient été travaillés cet hiver, puis semé en mélange composé de trèfle de Perse (*Trifolium resupinatum*), trèfle de micheli (*Trifolium mechelianum*), et de trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*). Un mélange d'orge a été semé en septembre 2021 également. Les 3 autres étaient composés de la flore spontanée. Pour le relevé, nous déroulions un décimètre de 60 m, depuis le premier pied de vigne de la rangée. Le centre du quadrat de 50 cm de côté, posé au milieu de l'inter rang, se situe au niveau du 0 m. Encore une fois, nous qualifions l'état de surface du sol : sol nu ou litière, puis nous déterminons toutes les espèces végétales présentes, mortes et vivantes. Le quadrat est ensuite décalé de 1 m, et ce sur 30 m. Sur les 30 m restants, il est décalé tous les 5 m jusqu'à atteindre 60 m. Nous effectuons un relevé au niveau de l'impluvium de la parcelle, c'est-à-dire le point le plus haut de la rangée. Puis, depuis le premier pied du rang, nous tendons le décimètre en direction du fossé, et nous effectuons un relevé tous les mètres jusqu'en bas du fossé. De retour au laboratoire, tous les relevés étaient mis sous format numérique dans un fichier excel.

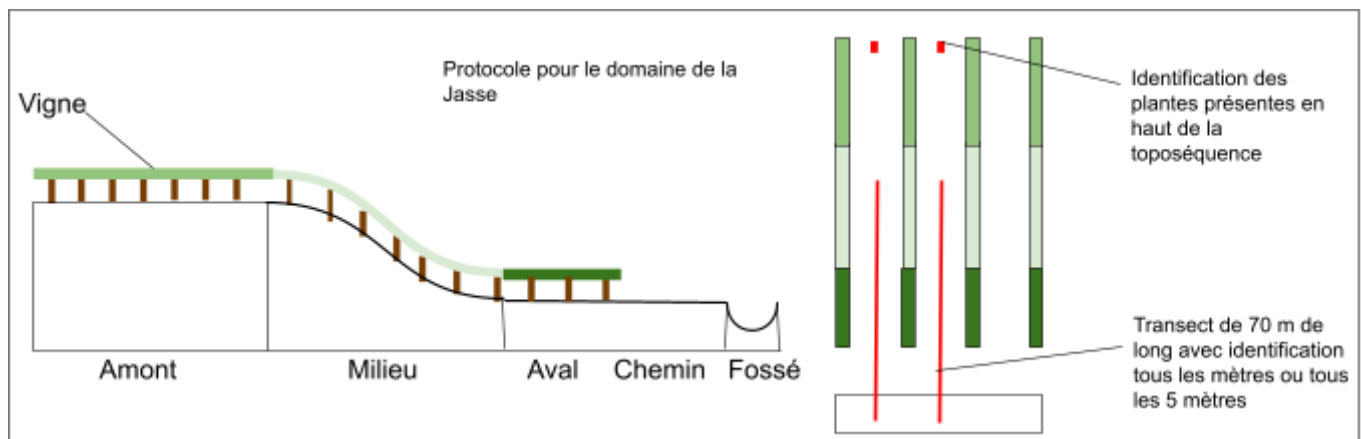


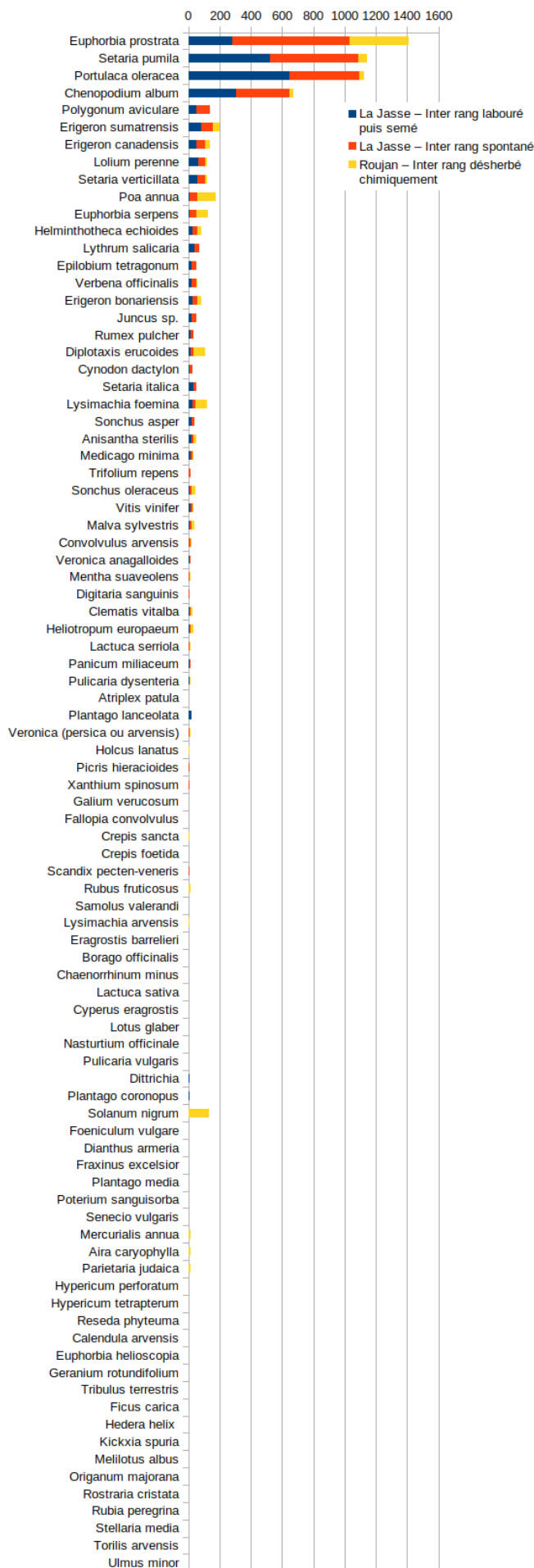
Figure n° 10 : Emplacement des relevés floristiques effectués à la Jasse.

Pour la comparaison entre la banque de graines de Roujan et la biodiversité floristique réalisée, les résultats se sont basés sur les relevés floristiques effectués au niveau des capteurs d'humidité dans une logique de réduction du temps de relevés et d'une utilisation maximale des données.

III - Résultats & Discussions

1 - Biodiversité végétale potentielle et réalisée

Toute ma première partie de stage a donc consisté en l'accumulation de données pour la suite de la thèse de Martin Faucher, concernant la banque de graines, nous avons procédé à 2959 observations pour



6986 plantules arrachés en tout (pour une observation d'une espèce dans une boîte, il pouvait y avoir plusieurs plantules à arracher). Un premier point qu'il a été intéressant d'observer a été la composition de la banque de graines, suivant la localisation et les pratiques culturales utilisées par les agriculteurs.

Figure n° 11 : Nombre d'individus de chaque espèce arrachés dans les boîtes, selon la provenance de la boîte et le mode de gestion de l'inter rang.

On peut observer que 4 adventices représentent la majorité des arrachages pour les bacs en provenance de la Jasse : la sétaire glauque, le pourpier, l'euphorbe prostrée et le chénopode blanc. Elles semblent assez communes dans les vignobles car elles sont aussi présentes à Roujan. Les pratiques culturales de la Jasse (moins de labour, pratique de l'inter rang enherbé plus ancienne, fauchage) peuvent expliquer ce résultat.

Les pratiques culturales de Roujan sont plus intensives : la durée d'enherbement des inter rangs est plus faible et le mode de gestion est le désherbage chimique, contrairement à la fauche qui va déposer les graines sur le sol où elles pourront sécher puis germer.

A Roujan, les banques de graines sont moins fournies en termes de densité et les espèces majoritaires sont la morelle noire, le pâturin annuel, le mouron bleu, les euphorbes

prostrées et rampantes et le diplotaxis fausse roquette. Ce sont des plantes de taille plus modestes par rapport à la Jasse, de croissance moins longue, et peut être plus adaptées aux produits de désherbage utilisés à Roujan.

Le point important de ce graphique concerne donc l'importance des pratiques culturales sur la banque de graines : si l'objectif de l'agriculteur est d'être plus résilient en terme d'achat de semences pour l'inter rang enherbé, d'avoir un bon potentiel de germination dans son sol et donc d'avoir un couvert végétal à même de limiter l'érosion hydrique de la parcelle, la seule pratique de la fauche va répondre à ses attentes. Dans le cas contraire, c'est la pratique du désherbage chimique qui va se révéler la plus efficace pour diminuer le stock de graines dans le sol.

Une vérification concernant le nombre d'espèces identifiées dans les boîtes s'est avérée nécessaire : j'ai utilisé la méthode de la richesse cumulée.

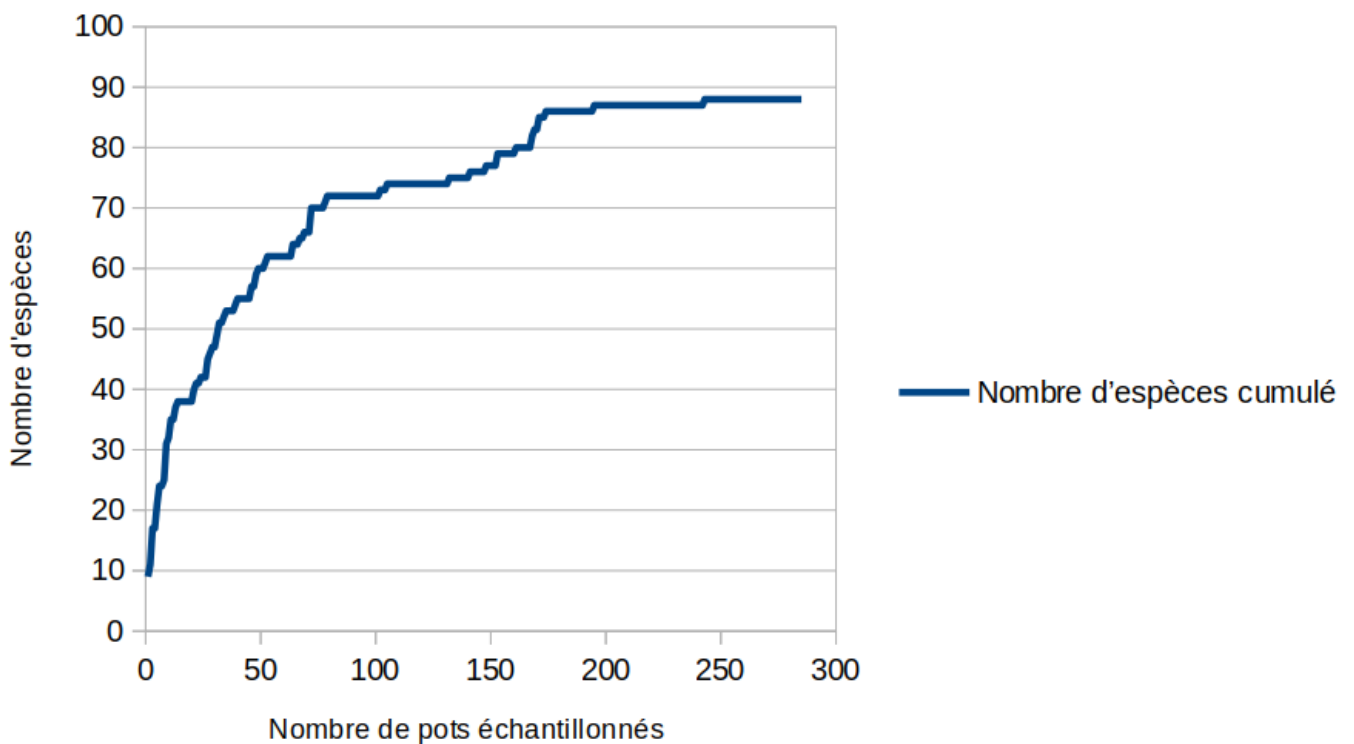


Figure n° 12 : Graphique de la richesse cumulée en fonction du nombre de pots échantillonnés. Pour chaque nouveau pot, le logiciel fait la somme du nombre d'espèces trouvées dans les pots précédents ainsi que le nombre de nouvelles espèces trouvées dans le pot.

On peut conclure de cette figure, par le plateau qui se situe entre les pots n° 200 et n° 285 que le nombre d'espèces échantillonnées approche le nombre réel d'espèces présentes dans les deux parcelles.

Un autre point d'intérêt concerne l'influence de la toposéquence sur la biodiversité végétale potentielle.

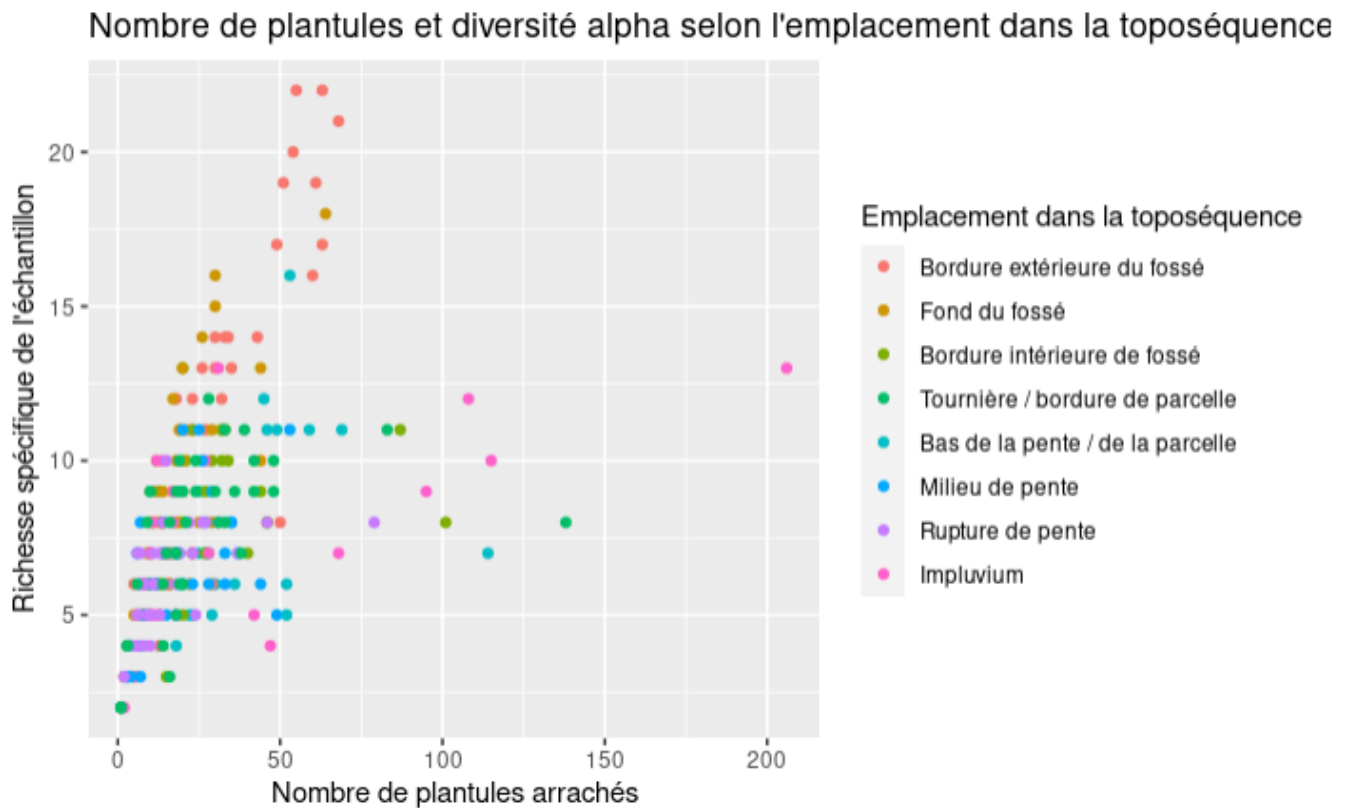


Figure n° 13 : Nombre d'espèces identifiées et de plantules arrachés pour chaque boîte, avec l'emplacement dans la toposéquence.

On peut observer que la bordure extérieure de fossé ainsi que le fond de fossé ont une très grande diversité spécifique ainsi qu'un nombre relativement élevé de plantules arrachées. Au niveau de l'impluvium (le haut de la parcelle), la diversité spécifique est plus faible mais le nombre de plantules arrachées est très important (jusqu'à 200 plantules). Pour les 5 autres modalités, on peut observer que les boîtes issues du haut de la pente semblent moins riches en graines de nombreuses espèces alors que le bas de la pente semble plus riche en graines et en espèces. On peut expliquer cette répartition par plusieurs raisons :

- Concernant l'impluvium, c'est un milieu relativement sec, où le nombre d'espèces présentes est réduit. Celles-ci adoptent une stratégie de reproduction de type r ce qui va être à l'origine d'un stock de graines important.
- Dans la pente qui se situe dans l'inter rang, le désherbage chimique ou les fauches réduisent la diversité végétale susceptible de pousser, les sols secs ainsi que la pente retiennent peu les graines lors des épisodes orageux, elles ont donc tendance à tomber en bas de la parcelle, d'où l'augmentation du nombre de graines en bas de la parcelle. La plus grande diversité peut

s'expliquer par une hygrométrie plus élevée en bas de parcelle qu'en haut de parcelle, ce qui permet à plus de plantes de pousser.

- Dans le fossé, la banque de graines est constituée de graines de plantes hygrophiles poussant dans le fossé, ainsi que des graines de plantes poussant dans le vignoble, d'où une plus grande diversité spécifique et un nombre d'individus arrachés relativement important.

Pour vérifier ces hypothèses, l'indice de Shannon-Wiener est un bon moyen d'appréhender les notions de richesse spécifique et d'abondance de ces espèces :

$$H' = - \sum p_i \cdot \ln p_i$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Il sera proche de 0 si le nombre d'espèces présentes est faible et que quelques-unes représentent la majorité des individus et sera élevé si le peuplement étudié est équilibré : les espèces ont toutes environ le même nombre d'individus.

Indices de Shannon par emplacement dans la toposéquence

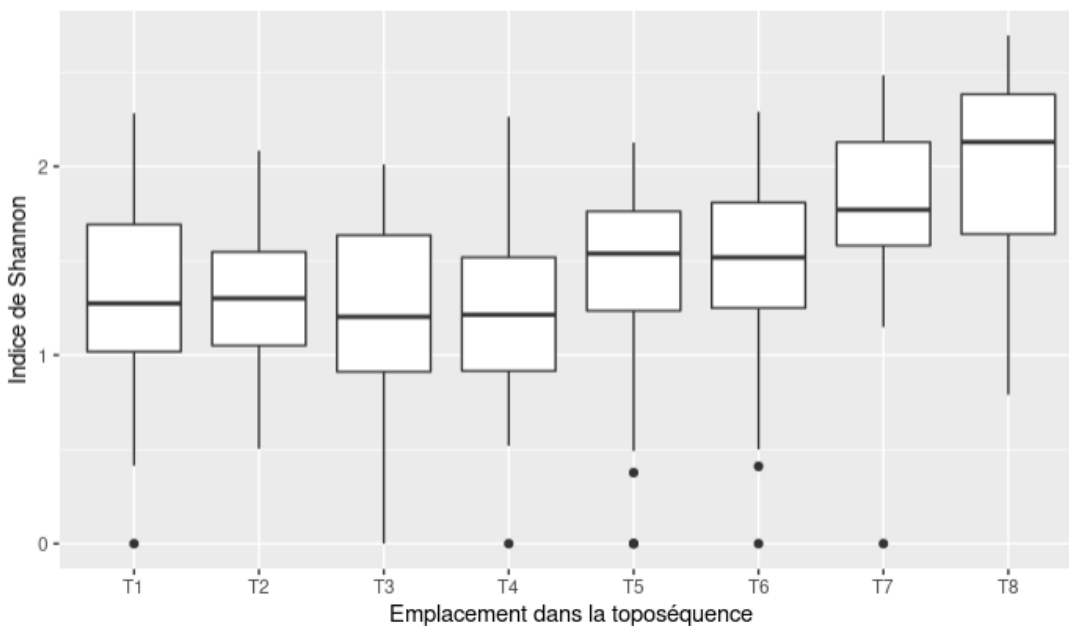


Figure n° 14 : Indices de Shannon des boîtes depuis le haut de la pente (T1 : impluvium) jusqu'à l'extérieur du fossé (T8).

On peut observer ce que nous avons conclu précédemment : la biodiversité dans la pente cultivée est plus faible (quelques espèces représentent la

majorité des individus) et la plus grande biodiversité (en termes d'individus et d'espèces) est située au niveau des zones moins travaillées (l'impluvium et le fossé).

Un biais de l'expérience sur la banque de graines concerne la définition de conditions optimales de croissance : en effet, il est largement accepté au sein de la communauté scientifique que ces conditions correspondent à une non limitation en eau, nutriments et lumière, ce qui permet à la plante de pousser. Cependant, pour une communauté végétale, ces besoins vont être différents selon chaque espèce, un arrosage trop important peut tuer les espèces xérophytes (des poacées sont sans doute mortes car elles avaient été trop arrosées), la présence de nutriments en grande quantité, et notamment azotés, peut réduire la germination de légumineuses (ce qui pourrait expliquer qu'on en ait peu vu sur dans les bacs mais bien

plus dans les parcelles) et l'éclairage permanent peut aussi nuire à des espèces lygophiles (aimant la pénombre). Cette expérience a donc conditionné la germination de plantes supportant bien l'humidité dans le sol, la présence de nutriments en grande quantité ainsi qu'un éclairage important. Or les conditions naturelles de germination dans les vignobles sont différentes pour les deux premiers points : l'humidité est souvent faible dans le sol, cette année le printemps a été peu pluvieux, et dans les vignes, la fertilisation est peu importante, la couche de matière organique du sol aussi, ce qui en fait des sols pauvres. Cette expérience a donc sélectionné une flore potentielle qui ne pourrait pas pousser dans sa totalité dans les conditions environnementales actuelles des vignobles. On peut néanmoins espérer que les espèces xérophytes arrivent à germer dans de telles conditions, mais que seule leur croissance soit affectée par la suite, ce qui n'est pas très important dans le cadre de l'expérience dont le but était de les identifier au stade plantule.

Concernant la flore présente dans les vignobles, différents paramètres vont induire des biais dans les résultats : tout d'abord au sein des inter rangs enherbés, des changements de pratique ont conduit certains agriculteurs à labourer leurs rangs enherbés avant des relevés pour garantir que seule la vigne ait accès à l'eau du sol. De nombreux relevés botaniques dans les inter rangs enherbés ont donc ressemblé à partir de début juillet à des inter rangs travaillés. Les deux méthodes de délimitation de la zone à déterminer avec le quadra étaient peu précises, selon les jours de relevés, un décalage de 10 cm du quadra sur la droite ou la gauche, en amont ou en aval, modifie la communauté végétale présente dans le quadra (surtout pour les espèces avec un très faible nombre d'individus). Un moyen d'y remédier sera d'agréger tous les quadrats d'une même zone pour en avoir le nombre d'espèces total. De plus, au cours de nos identifications, nous avons réalisé que les poacées étaient parfois plus facilement identifiables au stade morte que vivante. Or, nous n'étions censés dire que les espèces encore vivantes au sein du quadra, afin de pouvoir étudier par la suite la succession des communautés végétales. Des individus morts, mais identifiables ont donc été notés lors des relevés en tant qu'individus vivants avant que nous n'adaptions la façon de faire les relevés afin de préciser pour chaque individu s'il était mort ou vivant. Le but de l'inter rang enherbé est d'avoir un couvert végétal qui protège le sol de l'érosion, qu'il soit vivant ou non. Cependant, lors des avant-derniers relevés, la plupart des plantes étaient mortes, elles formaient une sorte de litière, qui protège le sol de l'érosion, et qui, étant claire, empêche qu'il se réchauffe trop. Nous n'avons pas utilisé la notion de litière assez tôt, mais la notion de sol nu, pour désigner les sols sans couvert végétal et les sols avec une litière morte dessus. C'est uniquement lors du dernier relevé que nous avons commencé à noter s'il y avait présence ou non de litière. Il faudra donc certainement compléter les données grâce aux photographies prises lors des relevés.

Il pourrait être intéressant de documenter la banque de graines des systèmes de conduite encore plus complexes comme l'agroforesterie en vigne (Jouanel Ploumarch est responsable des expérimentations à la chambre d'Agriculture de l'Hérault), ainsi que la biodiversité végétale associée, et son effet sur l'eau du sol.

2 - Dispersion des graines par hydrochorie et myrmécochorie

Pour ces expériences, nous n'avons pas encore de données à analyser car elles sont en phase d'être réalisées. Pour la myrmécochorie, des problèmes au niveau de l'achat des graines et des boîtes de pétri nécessaires à l'expérience ont retardé sa mise en place qui devait avoir lieu durant le mois d'août. D'après mes recherches bibliographiques, les fourmis du genre messor ont une importance considérable dans la formation et l'entretien des communautés végétales de type herbacée dans le bassin méditerranéen. Elles sont très utilisées pour effectuer de la restauration écologique de prairies dégradées, dans les vignobles, on peut s'attendre à ce que leur présence soit corrélée à une plus grande diversité floristique, ou à une sélection d'une flore donnant des graines utilisables par les fourmis. Si l'expérience est répétée plusieurs fois au cours de la saison de végétation prochaine, il pourra être intéressant d'étudier les choix de graines de fourmis : en début de saison, elles ont tendance à choisir les graines les plus grosses et en fin de saison les graines les plus petites (Joaquin, 2002).

Concernant l'expérience sur l'hydrochorie, nous attendons les premiers épisodes cévenoles du mois de septembre pour la mettre en place à la Jasse.

3 - Détermination par imagerie des insectes des vignobles

Les résultats pour cette expérience sont encore partiels, seule la séparation entre fourmis et autres insectes a eu lieu, ainsi que le comptage des fourmis selon 3 modalités : fourmis petites rouges, fourmis petites noires et fourmis grandes noires. Une des conclusions que nous pouvons tirer des relevés est que les inter rangs travaillés ne sont pas uniquement négatifs pour les fourmis : ils ne sont pas source de nourriture mais leur servent de zone de passage. C'est dans un inter rang travaillé que nous avons récolté le plus de fourmis : quasiment 1200 au total. Une piste de fourmis suivait l'inter rang sur une dizaine de mètres et le pot barber était situé sur cette piste. Ce résultat provient du fait que les pots barbers renseignent sur l'activité-densité des espèces, ce qui fait que l'on peut récolter beaucoup d'insectes qui n'habitent pas et ne se nourrissent pas à un endroit mais le traversent. Nous avons aussi récolté des hyménoptères, des diptères, des coléoptères (carabes, cétoines), des arachnides (opilions, araignées, acariens), des collemboles, des lépidoptères (chenilles), des hémiptères (pucerons, gendarmes, cicadelles), des orthoptères (sauterelles, grillons) ainsi que des crustacés (cloportes).

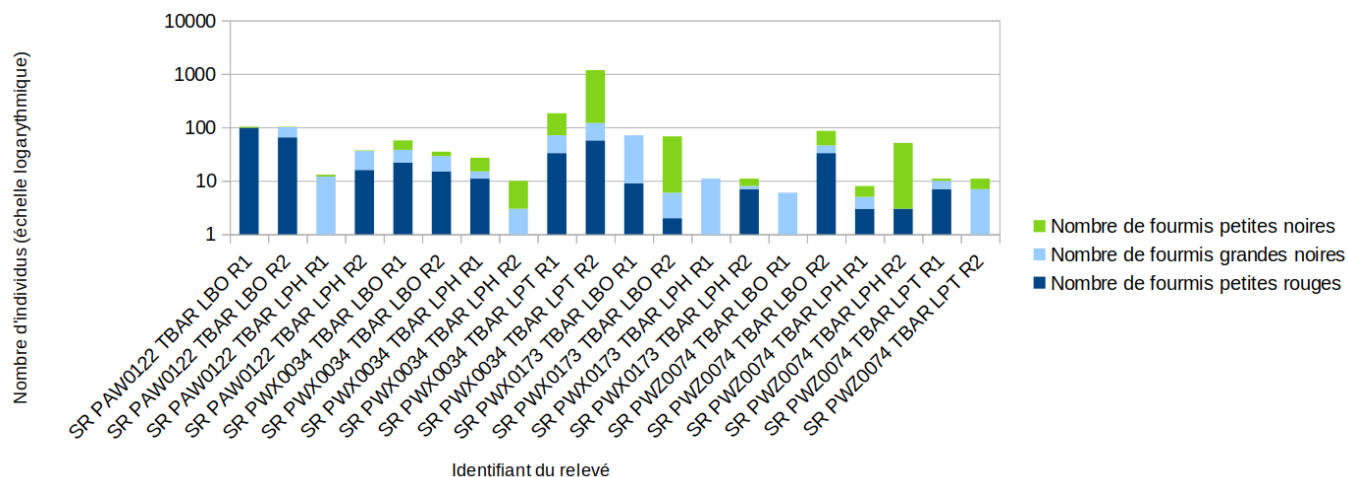


Figure n° 15 : nombre de fourmis récoltées dans chaque pot barber. La première partie d’identifiant correspond au nom de la parcelle (4 parcelles en tout), sur chaque parcelle, il y avait 3 modalités : LBO, bord de fossé ; LPH, rang enherbé et LPT, rang travaillé. Enfin, pour chaque parcelle et chaque modalité, il y a eu 2 répétitions R1 et R2.

Une des conclusions de cette expérience est que les fourmis sont systématiquement présentes dans les parcelles viticoles, leur nombre varie considérablement (entre 10 et 1200), les communautés aussi. Les services de propagation des graines, d’aération du sol via les fourmilières et d’enrichissement local en matière organique vont donc être extrêmement variables au sein d’une parcelle et entre des parcelles.

4 - Retours sur mon stage dans mon parcours professionnel

J’ai choisi ce stage de 2e année pour découvrir le secteur de la recherche en agronomie et en sciences environnementales. Il m’a permis d’appréhender les différentes facettes de la recherche : terrain, manipulations en serre, ainsi que la manipulation des données sur ordinateur. J’ai pu confirmer le fait que la recherche s’impliquait beaucoup au niveau des problématiques liées au changement climatique et à la crise de la biodiversité. Mon intégration dans l’équipe s’est faite de manière très agréable, l’équipe était très soudée, avec une bonne entraide. De plus, ce stage m’a permis de conforter mes compétences en botanique et en compréhension du fonctionnement des espaces cultivés. Les quelques discussions que j’ai pu avoir avec les viticulteurs m’ont cependant fait réaliser que pour certains, la recherche agronomique est encore bien trop déconnectée du monde agricole. Un effort supplémentaire dans la communication des résultats, ne serait-ce qu’aux agriculteurs qui acceptent de nous laisser faire nos expériences sur leurs parcelles, serait pour moi une piste d’amélioration. Une présentation courte des résultats lors d’une période de creux d’activité des viticulteurs, suivie d’une discussion avec eux sur ces résultats et comment ils peuvent impacter leurs choix culturaux pourrait être un premier pas dans la transmission des savoirs sans leur prendre trop de temps. Cela pourrait être fait en association avec le conseiller viticulture de la chambre d’agriculture de l’Hérault : Paul Hublard.

Conclusion

Comprendre comment la biodiversité rend des services à l'agriculture et les quantifier est une tâche complexe, mon stage durant encore un mois après la rédaction de ce rapport, j'aurais très certainement l'occasion de poursuivre ces recherches. La biodiversité entomologique des sols des vignobles s'est révélée plus étendue qu'escompté avec de nombreux taxons identifiés. Les services et disservices rendus par ces animaux sont très variés, difficiles à quantifier, le développement à venir du logiciel de comptage et de détermination nous permettra sans doute de mieux comprendre comment les quantifier.

Les fourmis se sont révélées au cours de mon stage un facteur essentiel de compréhension des communautés végétales des vignobles de l'Hérault. Présentes dans tous les vignobles que nous avons recensé, elles sont à l'origine de flux de graines et de matière organique que nous allons mesurer dans les prochaines semaines. Comprendre les relations qui existent entre les différentes espèces de fourmis et les communautés végétales pourrait être un moyen efficace pour favoriser la présence ou l'absence de certaines plantes non désirées : des relevés botaniques et entomologiques sur le terrain permettraient sans doute de lier les espaces végétales présentes et les espèces de fourmis.

La banque de graines présente dans les sols des vignobles et des espaces semi naturels qui leur sont associés s'est révélée d'une grande diversité en termes de composition des communautés végétales. 88 espèces ont été identifiées, le nombre d'espèces par boîtes pouvant aller jusqu'à 22 et le nombre de graines jusqu'à 206. La comparaison entre la banque de graines du sol et les relevés botaniques effectués sur le terrain sera un des points d'intérêt de la suite du stage. Comprendre comment la composition du sol et la présence de certains produits phytosanitaires (cuivre, arsenic) peuvent influencer sur les communautés végétales sera un point d'intérêt de la suite de la thèse de Martin Faucher.

Dans la continuité du stage, une phase de vulgarisation scientifique des résultats serait pertinente afin de donner aux agriculteurs les informations issues de nos travaux : l'effet du couvert végétal sur l'hygrométrie du sol (stage de Pauline Martin), son effet sur le ruissellement dans les pentes (érosion des sols et banque de graine), l'importance de la présence de fourmis dans les vignobles comme une aide dans la mise en place de couverts végétaux spontanés et diversifiés. Ces services écosystémiques rendus aux agriculteurs sont encore en cours de détermination, la suite de la thèse de Martin Faucher permettra certainement de mieux les appréhender.

Bibliographie

1. Amarathunga D. C. et al. (2021). *Methods of insect image capture and classification : A Systematic literature review*. Smart Agricultural Technology. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021830>
2. Arnan X. et al. (2010). *Foraging behavior of harvesting ants determines seed removal and dispersal*. Insectes Sociaux. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0100-7>
3. Arnan X. et al. (2012). *Uncoupling the effects of seed predation and seed dispersal by granivorous ants on plant population dynamics*. PLoS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042869>
4. Aronne G. et Wilcock C. C. (1994). *First evidence of myrmecochory in fleshy-fruited shrubs of the Mediterranean region*. New Phytologist. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02982.x>
5. Bouchard C. J., Néron R. & Guay L. (1998). *Le chénopode blanc*. Iriis Phytoprotection. <https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/Fiche/MauvaiseHerbe?imageId=5151>
6. Cateine M. (2017, octobre). *La myrmécochorie en Nouvelle Calédonie : importance du contexte et impact des fourmis introduites sur ce service*. Université de la Nouvelle Calédonie.
7. Chambre d'agriculture de l'Hérault. (2022, 17 mai). *L'agriculture de l'Hérault*. Consulté le 9 juin 2022, à l'adresse <https://herault.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/agriculture-departementale/lagriculture-de-lherault/>
8. Cheng X. et al. (2017). *Pest identification via deep residual learning in complex background*. Computers and Electronics in Agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.005>
9. Christin S. et al. (2019). *Applications for deep learning in ecology*. Methods in Ecology and Evolution. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13256>
10. Czarnecka J. (2005, janvier). *Seed dispersal effectiveness in three adjacent plant communities : Xerothermic grassland, brushwood and woodland*. Annales Botanici Fennici.
11. De Almeida T. et al. (2020). *Harvester ants as ecological engineers for Mediterranean grassland restoration : Impacts on soil and vegetation*. Biological Conservation. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108547>
12. Del Toro I. et Ribbons R. R. (2019). *Variation in ant-mediated seed dispersal along elevation gradients*. PeerJ. <https://doi.org/10.7717/peerj.6686>
13. Delbecq X. (2021, 22 décembre). *La guerre contre l'érigeron dans le vignoble est lancée. Réussir Vigne*. Consulté le 16 août 2022, à l'adresse <https://www.reussir.fr/vigne/la-guerre-contre-lerigeron-est-lancee>

14. Diopsis. (2020). *Een geavanceerd, modern systeem om volledig geautomatiseerd insecten te fotograferen, te herkennen en te monitoren*. Diopsis.eu. Consulté le 21 juillet 2022, à l'adresse <https://diopsis.eu/en/>
15. Dubois M. Et Al. (2011, décembre). Erigeron résistant au glyphosate, le point. *Phytoma*. Consulté le 16 août 2022, à l'adresse https://www.r4p-inra.fr/wp-content/uploads/2017/12/Dubois_et_al_2011-PHYTOMA.pdf
16. Elnemr H. A. (2019). *Deep Convolutional Neural Network for Plant Seedlings Classification*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100841>
17. FAO. (2020, 7 mai). L'utilisation des terres agricoles en chiffres. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Consulté le 25 juillet 2022, à l'adresse <https://www.fao.org/sustainability/success-stories/detail/fr/c/1298262/>
18. Franck A. (2013). *Capture, conditionnement, expédition, mise en collection des insectes et acariens en vue de leur identification*. CIRAD, Université de la Réunion.
19. Gad, A. F. (2021, 9 avril). *Accuracy, Precision, and Recall in Deep Learning*. Paperspace Blog. Consulté le 20 juin 2022, à l'adresse <https://blog.paperspace.com/deep-learning-metrics-precision-recall-accuracy/>
20. Garric A. (2017). La sixième extinction de masse des animaux s'accélère. *Le Monde*.
21. Ghosh S. et al. (2021, octobre). *SVM and KNN Based CNN Architectures for Plant Classification*. Tech Science Press. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.023414>
22. Høye T. T. et al. (2021). *Deep learning and computer vision will transform entomology*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2002545117>
23. Hui, J. (2020, 7 février). *mAP (mean Average Precision) for Object Detection*. Medium. Consulté le 20 juin 2022, à l'adresse <https://jonathan-hui.medium.com/map-mean-average-precision-for-object-detection-45c121a31173>
24. Joaquin L et al (2002, janvier). *Food storage in the nest and seed selectivity in the harvester ant *Messor barbarus* (Hymenoptera : Formicidae)*. Sociobiology.
25. Kasinathan T. et al. (2021). *Insect classification and detection in field crops using modern machine learning techniques*. Information Processing in Agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.09.006>
26. Konovalov D. A. et al. (2019). *DeepWeeds : A Multiclass Weed Species Image Dataset for Deep learning*. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38343-3>

27. Kreyer. (2015). *KreyoMET Trap* [Diapositives]. Echorom. https://www.echorom.ro/images/pdf/KreyoMET_online_field_monitoring.pdf
28. L, B. (2020, 25 novembre). *GAN ou réseau antagoniste génératif : qu'est-ce que c'est ?* LeBigData.fr. Consulté le 17 juin 2022, à l'adresse <https://www.lebigdata.fr/gan-definition-tout-savoir>
29. Leal I. et al. (2007). *Seed dispersal by ants in the semi-arid caatinga of north-east Brazil*. Annals of Botany. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm017>
30. Lecq S. et al. (2015). *Non-lethal rapid biodiversity assessment*. Ecological Indicators. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.004>
31. LÉPINOC. (2022, 14 avril). Noé. Consulté le 21 juillet 2022, à l'adresse <https://noe.org/programme-lepinoc>
32. *Liste des plantes myrmécochores (avec ou sans élaiosome)*. (2009, 5 juin). AcidFormik. Consulté le 1 juillet 2022, à l'adresse <http://www.acideformik.com/forums/index.php?showtopic=10731>
33. Marshall E. J. P. et al. (2003). *The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields*. Weed Research. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x>
34. Mele K. (2013). *Insect Soup Challenge : Segmentation, Counting, and Simple Classification*. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/ICCVW.2013.28>
35. Monasse P. et Nadjahi K. (2021, 21 octobre). *Découvrez les différentes couches d'un CNN*. OpenClassrooms. Consulté le 17 juin 2022, à l'adresse <https://openclassrooms.com/fr/courses/4470531-classez-et-segmentez-des-donnees-visuelles/5083336-decouvrez-les-differentes-couches-dun-cnn>
36. Morghadi A. (2018, 20 juillet). *Cancers et pesticides dans les vignes : « Tout le monde le sait et tout le monde ferme les yeux »*. Public Senat. Consulté le 25 juillet 2022, à l'adresse <https://www.publicsenat.fr/article/societe/cancers-et-pesticides-dans-les-vignes-tout-le-monde-le-sait-et-tout-le-monde-ferme>
37. Nausheen, N. (2022, 25 avril). *Compute performance metrics-F1 score, Precision, Accuracy for CNN in FastAI*. Medium. Consulté le 20 juin 2022, à l'adresse <https://towardsdev.com/compute-performance-metrics-f1-score-precision-accuracy-for-cnn-in-fast-ai-959d86b6f8ad>
38. Prakash D. B. et Rajesh V. (2019, août). *Medicinal Plant Recognition based on CNN and Machine Learning*. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse03842019.pdf>

39. Reyes-López J. L. et Fernández-Haeger J. (2002, janvier). *Food storage in the nest and seed selectivity in the harvester ant *Messor barbarus* (Hymenoptera : Formicidae)*. Sociobiology.
40. Rong M. et al. (2022, mars). *Pest Identification and Counting of Yellow Plate in Field Based on Improved Mask R-CNN*. Discrete Dynamics in Nature and Society. <https://doi.org/10.1155/2022/1913577>
41. Rudi G. Et Al. (2018). *Using geomorphological variables to predict the spatial distribution of plant species in agricultural drainage networks*. PLoS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191397>
42. Shaikh N. A. et al. (2018). *Using mobile image recognition system for nonwood species identification in the field*. Journal of Innovative Science and Engineering. <https://doi.org/10.38088/jise.498910>
43. Station Rhône-Alpes Légumes. (2017, décembre). *Le pourpier*. Ecophytopic. Consulté le 16 août 2022, à l'adresse <https://ecophytopic.fr/sites/default/files/SERAIL%20-%20ADVENTICE%20%20-%20Pourpier.pdf>
44. Strothmann W. et al. (2017, mars). *Plant classification with In-Field-Labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a multi-wavelength laser line profile system*. Science Direct. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.003>
45. Stuble K. L. et al. (2014). *Ant-mediated seed dispersal in a warmed world*. PeerJ. <https://doi.org/10.7717/peerj.286>
46. Sun C. et al. (2016). *Automated Image Analysis on Insect Soups*. 2016 International Conference on Digital Image Computing : Techniques and Applications. <https://doi.org/10.1109/DICTA.2016.7797010>
47. Takimoto H. et al. (2021). *Using a two-stage convolutional neural network to rapidly identify tiny herbivorous beetles in the field*. Ecological Informatics. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101466>
48. Thenmozhi K. et Srinivasulu Reddy U. (2019). *Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning*. Computers and Electronics in Agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104906>
49. Tixier P. et al. (2013). *Modelling interaction networks for enhanced ecosystem services in agroecosystems*. Advances in Ecological Research. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420002-9.00007-X>

50. Tomasi M. (2022, 9 mars). *Erigeron canadensis*. Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes. Consulté le 29 juillet 2022, à l'adresse <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/erigeron-canadensis/>
51. Wagler R. (2017). *6th mass extinction* (Encyclopedia of the Anthropocene éd., Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10477-X>
52. Wäldchen J. et Mäde P. (2018, juillet). *Machine learning for image based species identification*. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13075>
53. Wee C. Y. et al. (2019, juillet). *Cortical graph neural network for AD and MCI diagnosis and transfer learning across populations*. *NeuroIMag : Clinicals*. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101929>
54. Wen C. et Guyer D. (2012). *Image-based orchard insect automated identification and classification method*. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.008>
55. Xia D. et al. (2018). *Insect detection and classification based on an improved convolutional neural network*. *Sensors (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/s18124169>

Annexes

Annexe n°1 : noms et méthodes des différentes techniques de collecte active d'insectes sur le terrain (Nageleisen et Bouget, 2009).

Cylindre d'extraction	Aspirateur D-vac	Filet fauchoir	Thermonébulation insecticide
Pose rapide d'un cylindre sur la végétation puis aspiration des insectes qui y sont présents. Nb ins / volume	Aspiration des insectes dans un filet mis dans un aspirateur de jardin. Nb ins / surface	Fauchage de la végétation avec des mouvements de va-et-vient. Nb ins / surface	Pulvérisation d'un insecticide et collecte des insectes morts avec une bâche posée sous la plante. Nb ins / plante
Insectes présents dans la strate herbacée			Tous les invertébrés non fixés à la plante hôte

Filet à papillons	Chalutage	Capture par attraction lumineuse sur drap	Tamis Winckler
Prospection d'un espace en chassant les insectes volants. Nb ins / volume ou surface	Pose d'un filet sur un véhicule roulant sur un parcours prédéfini. Nb ins / distance	Pose d'une toile blanche et comptage et détermination des insectes présents dessus. Nb ins / surface d'où la lumière est visible	Collecte d'une portion de terre, mise dans un tamis Winckler, puis éclairage pour faire fuir les insectes dans un béccher de collecte. Nb ins / volume de terre
Insectes volants au dessus des plantes		Insectes nocturnes attirés par la lumière	Insectes vivants dans la couche de matière organique morte du sol

Sac collecteur de feuilles et rameaux	Battage et parapluie japonais	Brossage	Ecorçage
Collecte rapide de rameaux / feuilles dans un sac, traitement aux insecticides puis collecte des individus. Nb ins / volume de végétation	Battage des branches et collecte des individus dans le parapluie. Nb ins / plante	Frottage avec une brosse sur un manche du tronc d'un arbre, collecte des insectes sur une bâche. Nb ins / plante	Enlèvement de l'écorce d'un arbre et identification et comptage des individus. Nb ins / plante ou volume
Insectes vivants dans les arbres et les arbustes		Insectes présents sur les troncs d'arbres	Insectes xylophages

Annexe n°2 : noms et méthodes des différentes techniques de collecte passive attractive et non attractive d'insectes sur le terrain (Nageleisen et Bouget, 2009).

Piège appâté	Piège coloré	Piège à phéromones	Piège à refuge
Disposition dans un récipient d'interception d'un aliment attractif (sucre, animal mort, excrément, substance fermentée...) Nb ins / volume ou surface	Piège d'une couleur particulière rempli d'un mouillant dans lequel les insectes se noient. Nb ins / surface	Piège à interception contenant la phéromone sexuelle d'une femelle insecte. Nb ins / surface	Substrat artificiel reproduisant l'habitat-type d'insectes, il est collecté et analysé en laboratoire. Nb ins / surface ou volume ou plante
Insectes attirés par une nourriture particulière	Insectes attirés par les fleurs d'une couleur	Insectes mâles attirés par les phéromones sexuelles	Insectes attirés par un habitat spécifique

Criledé	Tente malaise	Piège à interception	Pot piège / Barber
Filet entonnoir disposé sur un tronc dans le sens de la montée ou de la descente des insectes. Nb ins / plante	Tente filet disposée face au vent collectant des insectes volants emportés par le vent. Nb ins / volume ou surface	Piège transparent sur lequel les insectes volants se cognent puis tombent dans un pot rempli de liquide. Nb ins / volume	Piège contenant un liquide inodore, posé sur le sol. Nb ins / surface
Insectes xylophages	Hyménoptères, diptères, lépidoptères	Coléoptères	Insectes rampants

Annexe n°3 : protocole pour l'installation des pots barber.

Contexte:

Ce protocole s'inscrit dans le cadre du projet MOMAC visant à étudier l'impact du changement climatique sur la biodiversité spontanée et associée, par la mise en place de protocoles d'acquisition à long terme et automatisés.

Objectifs:

Ce protocole vise à faciliter l'installation de pièges de type pots barbers pour la capture des insectes marcheurs (carabes, etc.) en milieu agricole.

Matériel:

Pots plastiques de 8.5 cm de diamètre et 10 cm de profondeur
Produit vaisselle (Arbre vert/ Maison verte peau sensible sans parfum)
Sel
Pelle de jardinage ou plantoir à bulbe
Pots plastiques de 5 cm de diamètre et 10 cm de profondeur
Alcool à 70°C
Tergal (voilage)

Passoire à mailles de 1 * 1.5 mm et de diamètre 12 cm
Pince souple à insectes
Boîte en plastique (25*30*7 cm) ou moule à gâteau (diamètre : 25 cm, hauteur : 5 cm)

Dispositif dans les parcelles:

Les pièges sont remplis avec une solution de 100 à 150 mL de produit vaisselle (2cL/L) et de sel (250g/L).

Les pots sont enfoncés dans le sol avec une pelle de jardinage ou un plantoir à bulbe. Bien aligner la surface du sol avec le rebord du pot.

A J+4, les pots sont ramenés au laboratoire et triés dès que possible (max le lendemain, conservation au frigo 4°C en attente du tri).

Lavage et tri des insectes:

1) La solution contenant les insectes est versée dans la passoire et lavée à grande eau directement sous le robinet afin d'évacuer un maximum de terre et d'éliminer les restes de solution salée. Il ne faut pas appliquer une pression en eau trop forte pour ne pas casser les insectes. S'il y a des escargots, les enlever et enlever les fils de bave qui ne contiennent pas d'insectes. Enlever des gros éléments (feuille, paille, brindille), en les lavant au-dessus de la passoire pour récupérer les insectes qui y sont accrochés.

2) Pour récupérer les insectes : retourner la passoire sur un récipient de taille suffisante (boîte en plastique ou moule à gâteau) blanc ou transparent de préférence (pour une meilleure visibilité), rincer vivement à l'eau ou frapper le manche de la passoire sur le bord pour faire tomber les insectes dans l'eau. La quantité d'eau est à adapter à la quantité d'insectes à trier. Plus il y a d'eau, plus la visibilité des insectes est facile. Retirer et trier les insectes avec une pince.

3) Cas sans escargot : les fourmis sont mises dans un pot séparé des autres insectes, 3 catégories sont comptées (grosses noires, petites noires et petites rouges) puis le nombre est inscrit sur le pot des fourmis. Les autres arthropodes sont placés dans un autre pot.

3bis) Cas avec escargot : les insectes sont remis dans la passoire et séparés de la bave d'escargot qui les contient, ils sont relavés à l'eau du robinet puis étape 2 et 3.

4) Les insectes sont ensuite recouverts d'une lame de 3 - 4 cm d'alcool à 70° et conservés au frigidaire à 4°C.