

UFR SCIENCES & TECHNIQUES COTE BASQUE

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Licence Professionnelle Espaces Naturels

Option Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités

2014-2015



Figure 1. Diversité des arthropodes rencontrés sur le domaine du Monastère de Solan
(Source : Planté N.)

**Évaluation de la biodiversité des arthropodes des parcelles de vigne du domaine
agroécologique du Monastère de Solan à partir d'une méthode simplifiée
d'identification des arthropodes**

Nadège Planté

Stage effectué du 02 mars 2015 au 31 août 2015 au Monastère de Solan
30330 La Bastide d'Engras
sous la direction scientifique de Mr Olivier Hébrard



*Les Amis
de Solan*

Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'association « Les Amis de Solan » ni même le « Monastère de Solan ».

Remerciements

Je remercie la Révérende mère Hypandia, Higoumène du monastère orthodoxe de Solan, pour son accueil chaleureux et sa bienveillance dans ce lieu sacré.

Je remercie Pierre Rhabi, Président de l'association les « Amis de Solan » pour son engagement au service de l'homme et de la nature.

Je remercie Olivier Hébrard, Directeur scientifique de l'étude, chargé de mission Natura 2000 et Docteur ès science, spécialisé en science de l'eau et en agronomies, pour sa patience, ses encouragements, sa vivacité et son optimisme chaque jour plus grand.

Je remercie Fabien Bélouard, mon compagnon, sans qui cette aventure n'aurait pu se faire dans d'aussi bonnes conditions.

Je remercie Elise Albertin, pour la première relecture et pour les bons moments partagés lors de nos nombreuses expéditions.

Je remercie Albane Jamier et Nathalie Brethoux, mes amies pour la dernière relecture nocturne.

Et je remercie toutes les sœurs et pères qui ont participé à la réalisation de cette merveilleuse aventure.

Sommaire

Remerciements	3
Introduction	7
1. Contexte de l'étude	13
1.1. Paysage et biodiversité	13
1.1.1. Définition de l'écologie du paysage.....	13
1.1.2. L'effet du paysage sur la biodiversité.....	13
1.1.3. Intervenir à l'échelle du paysage.....	15
1.2. Mesure de la biodiversité.....	15
1.2.1. Sélection du bio-indicateur	15
1.2.2. La méthode RBA « Rapid Biodiversity Assessment ».....	17
1.3. La zone d'étude : « Le domaine du Monastère de Solan ».....	19
1.3.1. Présentation générale	19
1.3.2. Géomorphologie, géologie et pédologie	19
1.3.3. Hydrographie.....	21
1.3.4. Une mosaïque forestière et agricole	21
1.3.5. Le choix de l'agroécologie et d'une approche globale.....	23
1.3.6. Le domaine de Solan classé site Natura 2000	25
1.3.7. La viticulture	25
1.4. Mise en place du projet.....	29
2. Matériels et méthodes	31
2.1. Estimation de la biodiversité des arthropodes par piégeage non sélectif létal	31
2.1.1. Sélection des parcelles de vignes.....	31
2.1.2. Détail d'un poste de piégeage.....	35
2.1.3. Relevés hebdomadaires.....	35
2.1.4. Analyse des échantillons par la méthode RBA (Rapid Biodiversity Assessment)	35
2.2. Traitement et analyse des données	37
2.2.1. Détermination des variables « arthropodes ».....	37
2.3. Analyse de la structure paysagère	39
2.3.1. Détermination des variables paysagères (occupation des sols)	39
2.3.2. Détermination des variables relative à l'état de surface	39
2.3.3. Détermination des données météorologiques	41
2.4. Traitement statistique des données	41
2.4.1. Évaluation du lien entre deux variables quantitatives.....	41
2.4.2. Évaluation des différences entre les moyennes.....	43
2.4.3. Évaluation des différences entre les systèmes de culture.....	43
3. Résultats.....	43
3.1. Résultats généraux, 11 postes de piégeage.....	45
3.1.1. Abondance et RMT par poste de piégeage.....	45
3.1.2. Abondance et RMT par taxons.....	45
3.1.3. Abondance et RMT dans le temps	47
3.1.4. Comparaison avec les 3 études menées sur les Costières de Nîmes, en 2011, 2012, et 2013	47
3.2. Test de l'hétérogénéité des données en arthropodes	49
3.2.1. Comparaison de l'abondance inter-pièges.....	49
3.2.2. Comparaison de la RMT inter-pièges.....	49
3.3. Analyses des corrélations entre variables	51

3.3.1. Relations entre variables météorologiques et variables Arthropodes	51
3.3.2. Relations entre variables arthropodes	51
3.3.3. Relations entre variables arthropodes et variables environnementales	51
3.4. Influence du système de culture (agroécologie / agriculture conventionnelle)	53
3.4.1. Présentation des données	53
3.4.2. Comparaison des moyennes	55
4. Discussion	57
5. Conclusion	61
Références bibliographiques	65
Annexes	69
Annexe 1. Organisation du stage	70
Annexe 2. Positionnement des 13 postes de piégeage	72
Annexe 3. Fiche de présentation de l'étude à l'attention des Amis de Solan	75
Annexe 4 Tableaux synthétiques des données récoltées pour les 11 postes de piégeage	77
Annexe 5 Tableaux synthétiques des données récoltées pour les 13 postes de piégeage	79
Annexe 6 Présentation des différents tests et analyses effectuées sur R via le logiciel Rcmdr	81
Résumé	82

Introduction

En quelques dizaines d'années, les écosystèmes mondiaux ont été transformés par les activités anthropiques comme jamais auparavant (Millenium Ecosystem Assesment, 2005). La biodiversité associée à ces milieux a été particulièrement impactée. En effet, les modifications apportées aux paysages ont fragilisé les habitats, entraînant leurs disparitions, leurs détériorations et leurs fragmentations. L'accroissement continu des diverses activités humaines amène à une crise sans précédent de la biodiversité. Ces activités réduisent les effectifs de certaines espèces, modifient leurs distributions dans l'espace et les possibilités d'échange entre les populations, et mettent au contraire en contact des espèces, d'habitats différents, jusque-là isolées (Kindlmann et Burel, 2008).

Depuis sa sédentarisation, l'homme est devenu agriculteur et éleveur. Ainsi il commença à transformer l'environnement. Pour satisfaire un besoin croissant d'efficience et de profit, le secteur agricole a graduellement uniformisé le paysage pour mettre en place des méthodes de production mécanisées, ces dernières amenant à exploiter de manière non soutenable les ressources naturelles (Fiedler et al, 2008). Pour assurer les besoins croissants de production agricole, les monocultures sont maintenues à un stade primaire nécessitant une intervention constante de l'homme. Ces modifications sont en même temps accompagnées d'un usage copieux de produits phytosanitaires pour stopper les espèces dites nuisibles, comme des végétaux ou des invertébrés.

Cette conversion des milieux se traduit par une simplification (homogénéisation) d'un espace initialement hétérogène, d'une réduction des liaisons écologiques et par conséquent d'une érosion de la biodiversité. (Lenda et Skørda, 2010). Qui plus est, au-delà de produire des ressources alimentaires et de la matière première, les agrosystèmes réalisent de nombreux services écologiques, comme la détoxification des sols, la production de biomasse ou de nourriture et régulent aussi l'érosion et le climat (stockage de carbone, émission des gaz à effet de serre, etc.).

Pour préserver et conserver la biodiversité, une gestion différente est envisageable. En favorisant des aménagements simples, comme le maintien ou l'installation de haies, voire de bandes herbacées propices à la flore et la faune. Comme l'agriculture en France occupe une place considérable (avec 54 % du territoire d'après Agreste, 2014) la préservation de la biodiversité affiliée aux milieux ouverts est primordiale.

La biodiversité dans les milieux agricoles décline en raison de l'apport constant de pesticides afin de lutter contre les maladies tels le mildiou, l'oïdium, le black-rot, ou la flavescence dorée... (INRA, 210). La viticulture, qui est considérée comme le fleuron de l'agriculture française (César, 2002), constitue 3% de la superficie agricole française, mais en revanche consomme 20% des produits phytosanitaires totaux utilisés en métropole (Morel, 2008). Pour s'affranchir de ces méthodes non pérennes, certains viticulteurs ont choisi de suivre le cahier des charges de l'agriculture biologique, et d'autres d'aller encore plus loin dans la démarche de protection du vivant en suivant des voies telles que celle de l'agroécologie, qui favorise notamment la biodiversité pour accroître la résilience du milieu face aux différents aléas comme les maladies ou les changements climatiques... Ainsi, dans le Sud-Est de la France, dans la région du Languedoc Roussillon, plus précisément dans le Gard à La Bastide-d'Engras, se trouve un domaine de 60 ha de terres groupées comprenant 96% d'un petit bassin versant. Depuis l'acquisition de ces terres en 1992 par une communauté de sœurs Orthodoxes, des moniales les gèrent avec le plus grand soin en respectant le vivant sous toutes ses formes.

Avant l'acquisition du domaine par la communauté de Solan, les vignes étaient conduites de manière conventionnelle, avec des apports de produits phytosanitaires (fongicides, insecticides et herbicides) et des pratiques favorisant la dégradation des sols (engrais minéraux, labour, non recouvrement des sols...). Depuis plus de 20 ans les sœurs du Monastère de Solan œuvrent à rétablir la fertilité des sols de leur domaine. Ainsi, les sœurs ont opté pour un enherbement complet des parcelles de vignes. Les structures paysagères ont également été renforcées pour favoriser l'équilibre écologique, les connexions et enrichir la biodiversité de leur domaine ainsi petit à petit cet agrosystème est renforcé et devient de plus en plus résilient. Ainsi, au delà du simple respect du cahier des charges de l'agriculture biologique, dans la perspective de renforcer la résilience des cultures, les sœurs ont notamment opté pour des pratiques s'inscrivant dans la démarche agroécologique. .

Présente depuis la moitié du XX^{ème} siècle sur le territoire français, la Flavescence dorée (FD) est une maladie à phytoplasme (bactérie sans paroi) transmise à la vigne par la cicadelle vectrice *Scaphoideus titanus*. Cette maladie est actuellement incurable et provoque dans certaines régions, des dégâts considérables. C'est l'une des maladies les plus graves à laquelle doit faire face la viticulture européenne (Constant F. & Lernould J., 2014).

En 2013, la moitié du vignoble français (400 000 ha) était déjà située en « Périmètre de Lutte Obligatoire » (PLO) (Constant F. & Lernould J., 2014). Aujourd'hui, la zone de lutte obligatoire se trouve à moins de 10 km du Monastère de Solan (arrêté préfectoral du Gard, du

2 juin 2015)

En viticulture biologique, le seul traitement autorisé dans le cahier des charges européen (RCE n°889/2008) et qui bénéficie d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) est le pyrèthre naturel. Au delà de son effet sur la cicadelle de la Flavescence Dorée, ce traitement est dit non sélectif, c'est à dire qu'il n'est pas spécifique à la cicadelle vectrice *Scaphoideus titanus*, et qu'il a donc un effet néfaste sur l'ensemble des arthropodes. Le protocole mis en place pour éradiquer la maladie se compose de 3 traitements successifs : le premier passage du traitement tue la faune présente sur les parcelles de vigne, le second passage permet de tuer les invertébrés qui viennent recoloniser le milieu, et le troisième anéanti le peu d'individus restants.

Étant donné que ce traitement aurait de lourdes conséquences sur l'ensemble de l'entomofaune, avant un éventuel passage en zone de lutte obligatoire, les sœurs de Solan souhaitent connaître « le capital biodiversité » de leurs vignes qu'elles ont acquis après plus d'une vingtaine d'années de soins. Pour cela, elles envisagent une première mesure de la diversité biologique des arthropodes du domaine, puisqu'ils sont reconnus comme de bons indicateurs de biodiversité globale (Olivier et Beattie, 1993 ; Hilty et Merenlender, 2000).

Cette étude a pour principaux objectifs :

- L'estimation de la biodiversité dans des parcelles de vignes appartenant au domaine du monastère de Solan, et ce à partir d'une méthode d'identification taxonomique simplifiée, fondée sur l'étude des arthropodes.
- De connaître la diversité au temps « t0 », pour pouvoir évaluer, le cas échéant, en réitérant cette étude au temps « t1 », les incidences éventuelles d'aménagements agroécologiques et/ou de perturbations du milieu ;
- La recherche d'une influence possible de la structure paysagère sur la diversité en arthropodes ;
- De comparer la diversité relative en arthropodes sur des parcelles conduites dans le sens d'une démarche agroécologique *versus* une démarche très conventionnelle.

Cette étude doit permettre de poser les premiers jalons d'une réflexion visant à évaluer si les aménagements mis en place ces vingt dernières années sur le domaine de Solan favorisent la biodiversité et la mise en jeu de mécanismes de régulations naturelles susceptibles de contrôler la population de la cicadelle vecteur de la Flavescence Dorée..

1. Contexte de l'étude

1.1. Paysage et biodiversité

1.1.1. Définition de l'écologie du paysage

L'écologie du paysage est une discipline récente qui a pour objet de comprendre les interactions entre les écosystèmes. Le paysage est le résultat des actions des Hommes qui se sont adaptés à leurs environnements naturels au cours de l'histoire. C'est une mosaïque hétérogène représentée par des éléments plus ou moins morcelés et reliés entre eux (Forman, 1995 ; Burel et Baudry, 1999).

Un paysage est composé de trois modèles organisés (Forman et Godron, 1986) :

La matrice est l'élément dominant dans le paysage, et est souvent considérée de moindre valeur écologique ; les tâches sont des fragments d'habitat dans la matrice ; les corridors (milieux fonctionnels) sont des éléments de formes linéaires reliant entre eux les différents habitats. (Figure 2)

1.1.2. L'effet du paysage sur la biodiversité

La composition du paysage décrit précédemment, conditionne la distribution spatiale des populations. En effet, divers auteurs comme Pain (2001) ou Hanski & Gaggioti (2004) décrivent trois facteurs dominants pour expliquer ce phénomène :

La surface habitable définit la taille de la population. Plus la surface est fragmentée, plus la taille de la population est diminuée et elle est ainsi plus sensible à la stochasticité démographique.

La capacité de survie et de reproduction d'une espèce décrite dépend de la qualité et de l'hétérogénéité des biotopes. En effet, plus ces derniers sont diversifiés plus ils contiennent un nombre important de microhabitats et une multitude de ressources alimentaires qui encouragent un cortège luxuriant d'espèce. En outre, certaines espèces, comme par exemple la salamandre tachetée (*Salamandra salamandre*), ont un cycle biologique qui nécessite des habitats différents pour compléter leur développement et leur permettre de croître (Pain, 2001, Burel et Baudry, 1999). Le confinement des habitats influence la dynamique des populations et des métapopulations en empêchant les populations d'une même espèce ou de deux espèces voisines de fusionner au plan génétique.

D'après Burel et Baudry (1999), ces facteurs définissent la capacité limite du milieu de chaque habitat et par conséquent la possibilité d'extinction des espèces.

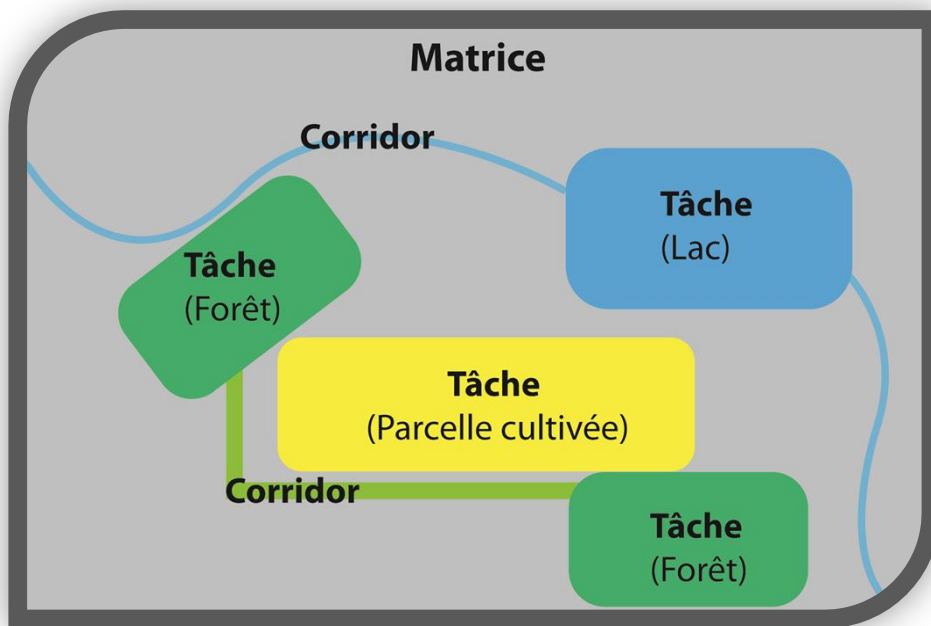


Figure 2. Représentation schématique d'un paysage

C'est pourquoi, la structure du paysage a un effet direct sur les mécanismes menaçants les disparitions locales, les migrations entre habitats et les processus en expansion trois éléments de la dynamique des métapopulations.

1.1.3. Intervenir à l'échelle du paysage

La définition proposée par Burel et Baudry (1999) estime que les activités anthropiques constituent aussi le paysage. Cette notion de paysage est ainsi appropriée pour représenter les structures agricoles. Les paysages homogènes tels des parcelles exploitées par une seule espèce de plante présentent une faible biodiversité comparativement à un paysage composé d'éléments éclectiques (Duelli 1997). Ainsi, les interventions de gestion peuvent être menées à l'échelle du paysage, en implantant des haies, des friches, ou de l'enherbement (Boller et *al.*, 2004). L'avantage procuré par ces infrastructures écologiques ou zone de réservoir (ZER) est de créer un habitat semi-naturel abritant la faune et la flore sauvage. Cela favorise les échanges (fonction d'écotone, de corridor), limite les intrants grâce aux zones tampons et améliore la qualité des sols (Harvey et *al.*, 2005). Par ailleurs, ces installations présentent bien d'autres intérêts agronomiques tels que l'amélioration des sols et la réduction de l'érosion des sols...

Pour évaluer le lien entre la biodiversité et la composition du paysage, l'échelle de l'étude doit s'accorder à l'écologie du bio-indicateur adapté (Burel et Baudry, 1999 ; Fargeas, 2005). Dans un rayon de 200 à 500 mètres des parcelles analysées, la nature et la structure du paysage ont une influence sur la biodiversité comme en atteste différentes études (Boller et *al.*, 2004 ; Guenser, 2008 ; Andrade 2010). Le comportement de l'indicateur et sa capacité de répartition donnent des informations supplémentaires sur la sélection de l'échelle idéale.

1.2. Mesure de la biodiversité

1.2.1. Sélection du bio-indicateur

La diversité biologique peut être vue suivant trois démarches : compositionnelle, structurelle et fonctionnelle ; la première étant connue comme un bon indicateur des deux autres (Noss, 1990 dans Duelli et Obrist, 2003). Les actions conduites dans cet exercice se concentrent sur une démarche compositionnelle de la biodiversité suivant une reconnaissance simplifiée approchant de la dimension de l'espèce.

Les arthropodes représentent la plus grande source de biodiversité terrestre. Les insectes remplissent des fonctions écosystémiques variées comme la pollinisation, ou un rôle sur la décomposition et de contrôle naturel des insectes. Ils sont également une ressource

alimentaire pour beaucoup de vertébrés comme par exemple les oiseaux ou les hérissons. Les inventaires établis via les invertébrés permettent d'estimer l'hétérogénéité et la qualité écologique du milieu à un niveau supérieur comparativement à une évaluation accomplie sur la flore ou les vertébrés (Yen et Butcher, 1997 dans Ward et Larivière, 2004).

De plus, Hilty et Merender (2000) expliquent que la majorité des invertébrés sont particulièrement vulnérables aux bouleversements environnementaux par rapport aux angiospermes ou aux vertébrés, car leur pourcentage d'appariement est prompt et leur délai de longévité est proportionnellement bref. Les arthropodes offrent ainsi un éventail de grandeurs, de taux d'accroissement et de choix d'habitats qui est associé à des caractéristiques propres. Ils sont aptes à donner une connaissance remarquable de l'état du milieu (Clarke, 1993 dans Ward et Larivière, 2004 ; Burel et *al.*, 1998) principalement dans les agroécosystèmes (Duelli et Obrist, 2003).

A ce jour, l'évaluation de la biodiversité via les arthropodes dans les milieux exploités est devenue courante (Burel et Baudry, 1999 ; Cotes et *al.*, 2010). En se basant sur le modèle des dernières études d'évaluation de la biodiversité dans les Costière de Nîmes (Porte, 2011 ; Lefort, 2012 ; Crouzy 2013), dans un contexte pédo-climatique se rapprochant de celui du domaine du monastère de Solan, cette analyse se concentre sur l'étude des arthropodes puisque cet indicateur rend compte des possibles effets de la structure paysagère.

1.2.2. La méthode RBA « Rapid Biodiversity Assessment »

Les arthropodes représentent le plus grand embranchement de la biodiversité mesurable ainsi leur échantillonnage est généralement chronophage et onéreux (Duelli et Obrist, 2003 ; Ward et Larivière, 2004). En France, plus de 3500 espèces d'arthropodes sont recensées parmi les ordres principaux (Figure 3). Par ailleurs, de nombreuses espèces restent encore à être décrites (Figure 4) et pour d'autres seulement quelques experts en taxonomie sont aptes à en identifier les individus. Parfois, certaines espèces ne sont pas identifiables faute d'expert. Partant de ce postulat, la mise en place d'une méthode simplifiée d'évaluation de la biodiversité dite RBA pour « Rapid Biodiversity Assessment » (Oliver et Beattie, 1993) ; fut élaborée avec comme impératif d'établir dans des délais convenables des démarches de préservation précises.

L'ensemble de règles choisies pour évaluer la biodiversité sur les parcelles de vigne du domaine de Solan est l'Unité Taxonomique Reconnaisable, dit également morphotype¹

¹ Morphotype : arthropode déposé dans un tube à essai, représentant un individu spécifique à un Ordre précis. Il est identifié en fonction de sa taille, sa couleur et sa forme.

(MT). Cette méthode s'avère fidèle pour la description globale de la biodiversité d'un site et pour l'analogie globale de la richesse biologique.

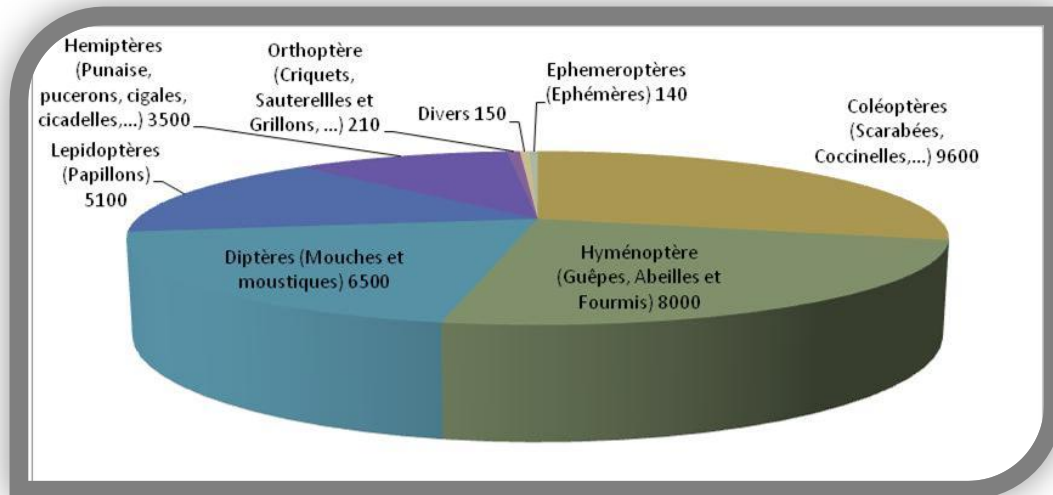


Figure 3. Estimation du nombre d'insectes pour les principaux Ordres en France.(Source OPIE : Office Pour les Insectes et leur Environnement, 2012)

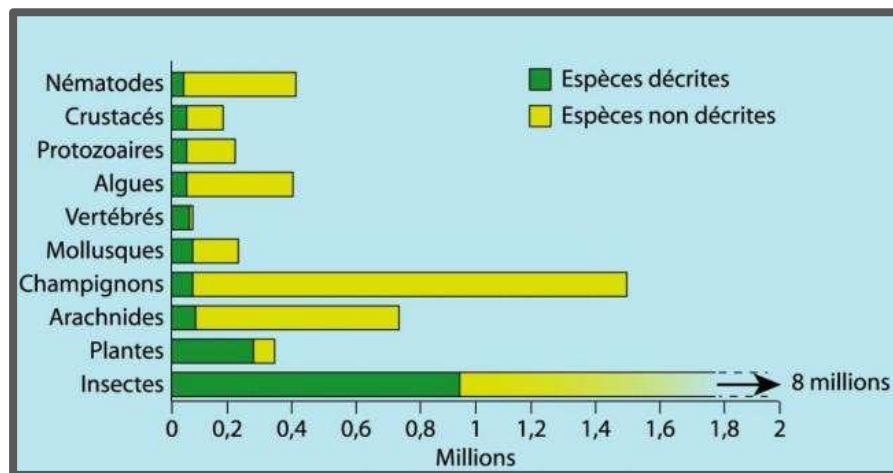


Figure 4. Nombre d'espèces décrites et estimation minimale du nombre d'espèces existantes D'après WCMC, 1992. Global biodiversity assessment. Chapman & Hall

L'identification taxonomique est schématisée à l'extrême car l'individu est analysé seulement jusqu'à l'Ordre. Les spécimens sont par la suite assignés à des groupes distincts (morphotypes : Figure 5) par une spéciation strictement visuelle fondée sur des caractères aisés.

Comme le temps et l'argent sont préoccupants, cette méthode de détermination simplifiée peut être accomplie par des amateurs appelés parataxonomistes² (Krell, 2004). L'élaboration de ce procédé fait appel au tri d'un taxon cible dit bio-indicateur.

1.3. La zone d'étude : « Le domaine du Monastère de Solan »

1.3.1. Présentation générale

Le domaine de Solan se trouve à l'interface des Cévennes orientales et de la vallée du Rhône dans le département du Gard (30) sur les communes de la Bastide-d'Engras et de Cavillargues (Figure 6).

La surface du domaine est d'environ soixante hectares avec des altitudes comprises entre 160 et 238 m. Le climat est de type méditerranéen à influence continentale (DOCOB « le Valat de Solan », 2009), et il se caractérise par de longues périodes de sécheresse estivale suivies de forts événements pluvieux à l'automne et au printemps. Les températures peuvent osciller entre -10°C et 40°C durant l'année. Le climat est caractérisé par des sécheresses estivales, les précipitations sont rares voir inexistantes et les vents sont fréquents et assez violents.

1.3.2. Géomorphologie, géologie et pédologie

Le domaine de Solan se trouve dans une région vallonnée et boisée. Le site est établi sur le contrefort oriental du massif cristallin des Cévennes sur le flanc nord de la vallée de la Tave (DOCOB « le Valat de Solan », 2009).

La répartition des sols et la topographie du site de Solan (Figure 7) sont définies via un positionnement du lieu sur un anticlinal. Six types de sols différents sont observés, nés de six roches-mères distinctes qui se succèdent du Nord au Sud (DOCOB « le Valat de Solan », 2009) : 1) marnes bleues et gréseuses, 2) des calcaires gréseux, 3) des marnes et des grès, 4) des sables glauconieux, des grès, des quartzites, 5) des calcaires argileux avec lignites, et des argiles kaoliniques, et 6) des calcaires argileux et cherts. Sur une distance inférieure à un kilomètre,

²Parataxonomiste : personne non formée à l'identification des individus jusqu'au niveau de l'espèce mais qui, sans connaissances approfondies en entomologie, est capable de reconnaître les individus à des échelons supérieurs de la taxonomie (Krell, 2004 ; Duelli et Obrist, 2005).



Figure 5. Illustration de 4 morphotypes (source Planté N., 2015)



Figure 6. Carte de France. En rouge représentation du département de Gard (30).

le site présente ainsi une très forte variabilité géologique, pédologique et topographique, favorable au développement d'habitats naturels diversifiés. Sur des distances inférieures à 100m, il est même par endroit possible de passer de sols très argileux à des sols très sableux.

1.3.3. Hydrographie

Le domaine est traversé par deux cours d'eau : le Valat de Solan et la rivière de la Brive, le premier se jetant dans le second à l'extrémité Nord du domaine au niveau du Gour du Tronc. La Brive est quant à elle un affluent (cévenol) du Rhône. La longueur du Valat est de 620 mètres ; 96% de son bassin versant se situe sur le domaine de Solan. La ripisylve qui le borde se caractérise par une végétation arborée dense composée d'une forêt de peupliers riveraine et méditerranéenne (Figure 7).

Des écoulements diffus des eaux de surface et de sub-surface des différents coteaux amont du bassin versant et également plusieurs petites émergences permanentes ou temporaires assurent son alimentation.

Au Sud du domaine, se trouve une prairie humide remarquable d'environ un hectare, qui joue un rôle fondamental dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Valat de Solan, notamment un soutien des débits d'étiages, une régulation des crues et l'épuration des eaux.

Cinq mares sont inventoriées sur le site : 1) la mare du Valat de Solan, 2) la mare du Gour du Tronc, 3) la mare nommée « mare dans la chênaie », et 4) deux anciens bassins de décantations aujourd'hui inactifs, tous deux reliés à un réseau de fossés.

1.3.4. Une mosaïque forestière et agricole

La richesse pédologique et sa distribution spatiale font du domaine de Solan une composition atypique où s'entremêlent parcelles cultivées et zones naturelles. Sur les soixante hectares de terres, quarante sont occupés par une forêt luxuriante où se rencontre un mélange de bois, de landes et de taillis. La partie restante (20ha) correspond à des parcelles de dimensions plutôt réduites, partagées entre les vergers, le potager et la vigne, réparties sur l'ensemble du domaine entre les zones forestières. Cette mosaïque forestière et agricole permet de nombreuses interactions entre les différents milieux. A ce jour, les vignes à elles seules représentent plus de la moitié des revenus de la communauté.



Figure 7. Représentation du domaine de Solan.

1.3.5. Le choix de l'agroécologie et d'une approche globale

Dès 1991, les moniales ont fait le choix de l'agriculture biologique. Après avoir rencontrées Pierre Rabhi en 1993, celui-ci les invita à aller à la rencontre du domaine et leur suggéra de s'engager dans la démarche agroécologique. Ainsi, après avoir pris conscience de la surprenante diversité naturelle du domaine, la communauté de Solan se mit à apprendre et développer un savoir faire remarquable, et ce en respectant et en composant avec les lois du vivant. Fondée et toujours présidée par Pierre Rabhi, depuis 1995 l'association « Les Amis de Solan » accompagne les moniales, dans leur volonté de restaurer l'harmonie et la fécondité des terres. L'association effectue également des études et favorise des actions de protection de la biodiversité. Tous les adhérents sont des personnes d'horizons et de convictions hétéroclites, qui partagent leurs savoirs et leur amour pour la terre. Dans une véritable approche globale, les moniales se sont consacrées à ramener la vie dans les sols, à diversifier les cultures, à favoriser les interactions entre le milieu naturel et les parcelles cultivées, à aménager un réseau de fossés, à mettre en place des haies et à restaurer la forêt.

96% de la superficie du bassin versant du Valat de Solan étant situé sur le domaine du monastère de Solan, cela signifie que les eaux du Valat de Solan, à la fois d'un point de vue qualitatif et d'un point de vue quantitatif, dépendent directement du mode de gestion des terres du domaine par la communauté, et sont dès lors, étroitement liées aux règles de décisions agronomiques et écologiques choisies par les sœurs. Cette caractéristique, associée à la gestion intégrale du domaine selon une démarche agroécologique³, font de ce lieu un observatoire unique dans la compréhension du fonctionnement des agroécosystèmes. Conscientes des interactions multiples qui gouvernent le fonctionnement des milieux naturels et saisissant l'intérêt de gérer ces interactions à l'échelle d'un système fermé, les moniales ont suivi naturellement une approche de plus en plus globale pour la gestion de l'ensemble du domaine.

³ « L'agroécologie considère le respect de la terre nourricière et la souveraineté alimentaire des populations sur leurs territoires comme les bases essentielles à toute société équilibrée et durable. Elle est un ensemble de pratiques, une science et un art réconciliant l'écologie et l'agronomie. Son objet n'est pas uniquement l'être humain, la plante, l'animal ou le sol, mais l'ensemble des éléments de l'écosystème et des systèmes sociaux et de leurs interrelations. En ce sens, l'agroécologie est un équilibre harmonieux mêlant, agriculture et écologie, quantité et qualité, activités humaines et biodiversité, philosophie et techniques, écosystèmes et systèmes sociaux. » *Synthèse de différentes définitions réalisée par l'association Terre & Humanisme*

1.3.6. Le domaine de Solan classé site Natura 2000

Le domaine géré dans la mesure du possible selon les préceptes de l'agroécologie, cela a permis de maintenir et de développer une multitude d'habitats favorables à des espèces floristiques et faunistiques d'intérêt primordial.

Conscientes de la diversité de ces habitats naturels et de la richesse de sa faune et flore, les moniales ont souhaité classer leur domaine en site « Natura 2000 ». Classé site Natura 2000 » par l'arrêté du 3 février 2010, il est aujourd'hui classé comme Zone Spéciale de Conservation (arrêté du 22 décembre 2014). Depuis le classement comme site Natura 2000, l'association « Les Amis de Solan » en est la structure animatrice.

Au niveau du domaine, 6 habitats dits d'intérêt communautaire et prioritaires sont répertoriés : 1) forêt de peupliers riveraine et méditerranéenne, 2) tapis de Characées, 3) pelouse calcicole sèche à Brome dressé, 4) prairie humide méditerranéenne à hautes herbes, 5) sources calcaires pétrifiantes du Cratoneurion, 6) forêt de Chênes verts de la plaine catalo-provençale.

Le domaine de Solan est un véritable « hot spot » de la biodiversité. où se trouve notamment trois espèces animales d'intérêt communautaire : le Lucane Cerf-Volant (*Lucanus cervus*), le Grand capricorne (*Cerambyx cerdo*) et l'espèce « phare » l'écrevisse à patte blanche (*Austropotamobius palipes*). Le domaine accueille également deux espèces végétales d'intérêt patrimonial, la Fougère des Marais (*Thelypteris palustris*), et l'Orchis d'Occitanie.

1.3.7. La viticulture

1.3.7.1. La conduite du vignoble sur le Domaine de Solan

Avant l'acquisition du Domaine par la communauté de Solan en 1992, le vignoble était conduit de manière conventionnelle. En particulier, cela signifie que des pesticides chimiques (herbicides, insecticides, fongicides...) et des engrais de synthèse étaient employés. Depuis, le vignoble est cultivé dans le respect du cahier des charges de l'Agriculture biologique, sous la certification de la société ECOCERT-SAS. De ce fait, mis à part le cuivre et le soufre, qui sont tous les deux tolérés (moyennant des doses annuelles), aucun pesticide chimique ni engrais de synthèse n'est plus apporté sur le domaine du monastère de Solan. Les sœurs pratiquent la viticulture biologique en suivant une démarche agroécologique, basée sur la recherche des équilibres naturels entre la plante, le sol et son environnement : 1) une stratégie très aboutie d'observations et d'interactions avec les cultures, 2) une prophylaxie importante, 3) de faibles surfaces cultivées (5 ha de vigne seulement), 4) l'application de doses réduites de

cuivre et de soufre, 5) le soin des plantes par les plantes (prêle, ortie, consoude, et bien d'autres...amenés sous forme de tisanes ou de macération), 6) un enherbement complet et permanent des parcelles des vignes, 7) un renforcement de l'ensemble des structures paysagères à l'échelle du domaine, 8) une mise en œuvre de toutes les pratiques, tel le compost, favorables à la création d'humus, et 9) la réduction des traumatismes liés à la mécanisation (les vendanges sont effectuées de manière manuelle)

Un soin particulier est apporté au sol pour restaurer sa faune et sa flore via un enherbement par semis composé de légumineuses, crucifères, graminées et fleurs. Cet assortiment nourrit le sol, apporte une protection contre l'érosion hydraulique et éolienne, améliore la structure des sols par l'action mécanique des racines qui décompactent et favorisent la circulation de l'air et de l'eau. Une alimentation riche en hydrates de carbones lents (cellulose, lignine) par les céréales, rapides (sucres) via les graminées prairiales et azote avec les légumineuses permet ainsi le pullulement de la macrofaune (lombrics) et de la microfaune (rhizobactéries et mycorhizes). Le tout rend la vigne moins vulnérable aux maladies car elle retrouve son cortège de bactéries qui l'aide à lutter naturellement contre toute agression.

Ainsi, il est raisonnable de penser que sur le système de conduite de la vigne mis en œuvre sur Solan, la biodiversité doit être supérieure à celle d'un système de conduite très conventionnel (grandes parcelles, pesticides chimiques, désherbage intégral, mécanisation traumatisante). Selon Duelle (1997), les paysages hétérogènes concentrent en effet une biodiversité supérieure à celle de paysages homogènes telles les monocultures. Cela sous-entend également que les mécanismes de régulation naturelle y sont renforcés.

1.3.7.2. La flavescence dorée

La Flavescence Dorée (FD, est une jaunisse de la vigne particulièrement contagieuse et incurable. Elle est causée par *Candidatus Phytoplasma vitis*, (Figure 8) un phytoplasme (micro-organisme) qui circule dans la sève. La maladie se caractérise par trois symptômes présents simultanément et sur un même rameau : 1) le changement de coloration des feuilles,(Figure 10) 2) l'absence de lignification des nouvelles pousses (non aoûtement) et 3) la mortalité des inflorescences et des baies.

La cicadelle dorée (*Scaphoidus titanus* (Figure 9)), d'origine Nord-Américaine, a été introduite accidentellement en France où elle fût identifiée pour la première fois en 1958. Cet insecte, vecteur de la maladie, prélève le phloème du cep pour se nourrir, et ainsi, inocule le pied de vigne du phytoplasme. De plus, la cicadelle dorée est attirée par les feuilles jaunies par la maladie (Chuche, 2010). Présente dans la plupart des régions viticoles du Sud de l'Europe,

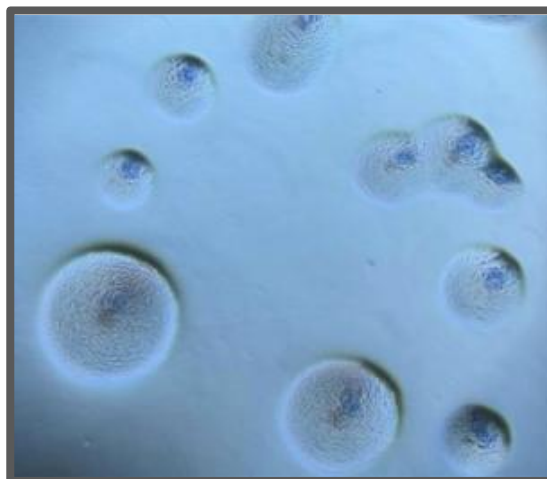


Figure 8. Colonie de phytoplasme(microscope optique grossissement 20X) (Source : Assunta Bertaccini, 2014). Image grossie au microscope optique x20



Figure 9. Cicadelle de la flavescence dorée (Scaphodeus titanus) (Soucre : Yerpo, 2014)



Figure 10. Symptôme de flavescence dorée sur cépage rouge de Cabernet-Sauvignon (Source Inra, Eveillard S., 2013).

elle occasionne de fortes pertes de récoltes et peut compromettre la pérennité des vignobles. Sa découverte dans un vignoble conduit les autorités à la mise en œuvre d'une réglementation imposant la lutte obligatoire sur des zones définies. Outre la surveillance du vignoble et la plantation de ceps sains (qui n'empêche pas une contamination extérieure), la lutte contre la flavescence dorée repose d'une part sur l'arrachage des souches contaminées, voire de la parcelle entière si le pourcentage de pieds touchés dépasse 20 %, et d'autre part sur la maîtrise de l'insecte vecteur de la bactérie responsable, par l'application de traitements insecticides (Constant et Lernould 2014). En agriculture biologique, le pyrèthre naturel est à ce jour la seule molécule active autorisée par le cahier des charges européen de l'agriculture biologique (RCE n°889/2008), et qui possède une autorisation de mise sur le marché (AMM) pour l'usage « cicadelle de la flavescence dorée ». Le Pyrèvert® est la seule spécialité commerciale actuellement commercialisée en France. D'après Constant et Lernould (2014), 400 000 hectares de vignes étaient placées en périmètre de lutte obligatoire en France en 2013. Suite à l'arrêté préfectoral du Gard du 2 juin 2015 relatif à la lutte contre la flavescence dorée de la vigne et son agent vecteur la cicadelle dorée (*Scaphoidus titanus*), la zone de lutte obligatoire se trouve aujourd'hui (août 2015) à moins de 10 km du Monastère de Solan. Les sœurs étant en agriculture biologique (AB), si le périmètre s'élargit aux communes de La Bastide-d'Engras et de Cavillargues, auront donc pour obligation de traiter les vignes au pyrèthre. Ce dernier est un insecticide naturel non sélectif (il ne cible pas une espèce en particulier). En outre, il doit être appliqué à trois reprises dans les parcelles de vigne pour garantir son efficacité. Le travail des moniales étant de retrouver l'équilibre naturel de l'écosystème, cette méthode va anéantir le capital biodiversité acquis ces vingt dernières années, sur le domaine de Solan.

1.4. Mise en place du projet

La maladie de la flavescence dorée occasionne sur la vigne des dégâts considérables, la perte des récoltes et la pérennité des vignobles peuvent être compromises. Pour le domaine du monastère de Solan, non si la maladie de la Flavescence Dorée apparaissait, les pertes potentielles pourraient être importantes, mais la perte via les traitements au pyrèthre du capital biodiversité acquis serait quand à elle considérable. A priori, dans cette biodiversité, réside non seulement les auxiliaires aptes à appréhender n'importe quelle perturbation mais également des interactions infimes entre organismes comme des alliances, des associations mutualistes et des symbioses. Préalablement, avant tout éventuel traitement, les sœurs souhaitent approfondir leur connaissance du domaine pour pouvoir comprendre et agir de manière appropriée au contexte. Initialement, un des principaux objectifs de cette étude devait

être un comparatif de biodiversité entre les parcelles de vignes du monastère conduites selon une démarche agroécologique et les parcelles aux alentours conduites de manière très conventionnelles, et ce pour une durée de 10 semaines. Toutefois, l'association les « Amis de Solan » n'étant ni un institut de recherche, ni un institut technique agricole, ni même un établissement comme la Chambre d'agriculture, dans le cadre de la mise en place d'une telle démarche, elle ne pouvait pas prendre le risque de détériorer les relations du monastère avec le voisinage.

Ainsi, non sans regret, il a été décidé de ne pas placer de station de piégeage sur les parcelles du voisinage.

En définitive, l'objet principal de l'étude est d'évaluer la biodiversité des vignes du domaine de Solan afin de déterminer la diversité spécifique (diversité entre les ordres d'arthropodes). La période optimale de piégeage des arthropodes se situe de la mi-avril à la fin juin (Guenser, 2008). La mise en route du projet s'est déroulée selon la chronologie présentée ci-après (Figure 11) Onze postes de piégeage ont été disposés dans les parcelles du domaine de Solan, pour une durée initiale de 10 semaines. Au cours, de l'inventaire, les effectifs des arthropodes étant faibles par rapport aux attentes, une multitude de questions est alors survenue. Compte tenu du fait que la méthode RBA n'est pas comparable à d'autres méthodes en raison de sa subjectivité, il a finalement été décidé de placer deux postes de piégeage supplémentaires dans une parcelle de vigne du voisinage conduite de manière conventionnelle, et ce de la semaine 10 à la semaine 12. La seconde partie de l'étude s'attachera à comparer à partir de ces trois semaines de relevés, la biodiversité des deux systèmes de conduite de la vigne, le premier dans une démarche agroécologique et le second dans une démarche très conventionnelle.

2. Matériels et méthodes

2.1. Estimation de la biodiversité des arthropodes par piégeage non sélectif létal

2.1.1. Sélection des parcelles de vignes

Pour permettre à l'étude d'extraire le plus d'informations possible, le réseau de piégeage a été mis en place en tenant compte des différents éléments cités ci-dessous :

- * Une répartition spatiale homogène des postes de piégeage sur les parcelles de vigne de l'ensemble du domaine ;
- * Des postes sur les parcelles les plus isolées ;
- * Prise en compte des variations géologiques ;

Mars 2015	Inventaire, nettoyage, réparation des postes de piégeage et tester un poste de piégeage pour faire face à la logistique.
Du 1 ^{er} au 9 Avril 2015	Définir et positionner les pièges dans les parcelles
15 au 22 Avril 2015	Mardi 15 avril 2015 : Activation des 11 postes de piégeage Mardi 22 avril 2015 : Premier relevé des postes de piégeage

Figure 11. Calendrier détaillant la mise en route du projet Arthropode

- * Prise en compte des variations d'encépagement (Cabernet, Syrah, Grenache, Vermentino, Pinot et Merlot) ;
- * Placer des postes de piégeage au centre des parcelles, de manière normée, en cherchant le barycentre de chacune d'entre elles. Cela permet d'évaluer la diversité à l'intérieur des vignes.
- * Positionner des postes de piégeage en bordure de parcelle.

Ainsi, dans la perspective d'évaluer la biodiversité des arthropodes dans les parcelles de vigne, en tâchant de prendre en compte pour le mieux ces éléments-là, six postes sont spécifiquement implantés au centre des parcelles et 5 en bordures.

Pour positionner le poste de piégeage de manière normée, un cercle est choisi, pour permettre à chaque poste de piégeage d'être à une distance homogène de la végétation sur chaque parcelle. Ce cercle est positionné sur une carte comprenant la parcelle, de préférence au centre de celle-ci. Sa taille doit être la plus grande possible et ne doit pas toucher la végétation (forêts, haies), ni les fossés ou même les chemins autour de la parcelle. Cette méthode est constante pour chaque poste de piégeage sur les différentes parcelles pour ainsi être comparable. Au centre de chaque cercle est disposé le poste de piégeage, ce qui permettra d'avoir les 6 postes de piégeage situés à équidistance.

Lorsque le point central du positionnement du poste de piégeage se trouve sur un fossé appartenant à la parcelle, le poste de piégeage est décalé à l'intérieur d'un rang de vigne.

Trois autres postes de piégeage sont disposés dans un angle de 3 parcelles et 2 autres postes au centre de la rangée la plus proche de la végétation pour étudier l'effet de l'écotone.

Les résultats seront étudiés en termes d'abondance (effectif d'insectes collectés par poste de piégeage) et en termes de richesse spécifique, normalement c'est la quantité d'espèce rencontrées. Pour cette étude, c'est en fonction de la quantité de morphotypes déterminés : Richesse Morphotypique (RMT). La première partie consiste à étudier la biocenose⁴. Pour cela la diversité écologique est analysée avec 2 types de mesure : l'abondance (nombre d'individus rencontrés pour une espèce donnée : ici ce n'est pas l'espèce mais le morphotype) et la richesse spécifique de chaque morphotype constituent la base des données. Ensuite des indices seront calculés comme l'indice de Shannon et l'indice de Pielou (expliqué en 2.4). Ces indices représentent la diversité intrabiotope (ou diversité α) d'une mesure faite à partir d'une surface limitée (parcelle de vigne). De même, une analyse paysagère sera faite en comparant la première végétation représentée autour de chaque parcelle.

⁴La biocénose est constituée par la totalité des êtres vivants qui peuplent un écosystème donné (Ramade F. 2008)

Pour la deuxième partie de l'étude, c'est-à-dire la comparaison des systèmes de culture conduits respectivement dans une démarche agroécologique et dans une démarche conventionnelle. Les 2 postes supplémentaires, qui ont été installés à partir des 3 dernières semaines de relevés (S10, S11 et S12) sont positionnés à l'extérieur du domaine sur une grande parcelle de Syrah, où le sol est nu (en raison d'utilisation d'herbicides). La position de chaque poste de piégeage est : un premier poste de piégeage central et un second en bordure de parcelle (proche de la forêt). Ainsi les 11 postes de piégeage situés sur le domaine de Solan seront comparés avec les 2 postes de piégeage sur la parcelle conduite de manière conventionnelle. Tout comme la première partie de l'étude, la biocénose sera mise en avant avec la diversité α (Diversité intrabiotope). Des indices interbiotopes (indice β) seront mis en place pour mesurer la diversité commune ou non à 2 biotopes analogues (agroécologique et conventionnel).

2.1.2. Détail d'un poste de piégeage

Chaque poste de piégeage est composé de 2 pièges non sélectifs d'arthropodes pour permettre d'évaluer la biodiversité générale. Un premier piège dit « Combi » collecte les individus aériens et un second piège dit « Pitfal » recueille les individus terrestres. (cf Annexe 3 : Fiche de présentation de l'étude à l'attention des Amis de Solan) (cf Figure 12, Figure 13)

2.1.3. Relevés hebdomadaires

Chaque poste de piégeage à un numéro attribué pour être identifié (P01 à P13) avec une indication à propos du piège (C : Combi et P : Pitfal) (Figure 14)

Une fois par semaine, pendant 12 semaines, les réservoirs de chaque piège contenant les arthropodes sont relevés par l'expérimentatrice. Le relevé est effectué toujours le **même jour de la semaine**, c'est à dire **le mardi**.

Les pièges seront intégralement installés pour le vendredi 10 avril 2015.
Leur activation (début de la capture) se fera **le mardi 14 avril 2015** et le 1^{er} relevé aura lieu le mardi 21 avril 2015.
Les relevés dureront **12 semaines**, jusqu'au **mardi 7 juillet 2015** date du dernier relevé.

2.1.4. Analyse des échantillons par la méthode RBA (Rapid Biodiversity Assessment)

L'indentification des échantillons se déroule au bureau en suivant la méthode RBA qui s'appuie sur une détermination taxonomique simplifiée suivie d'une distinction visuelle des

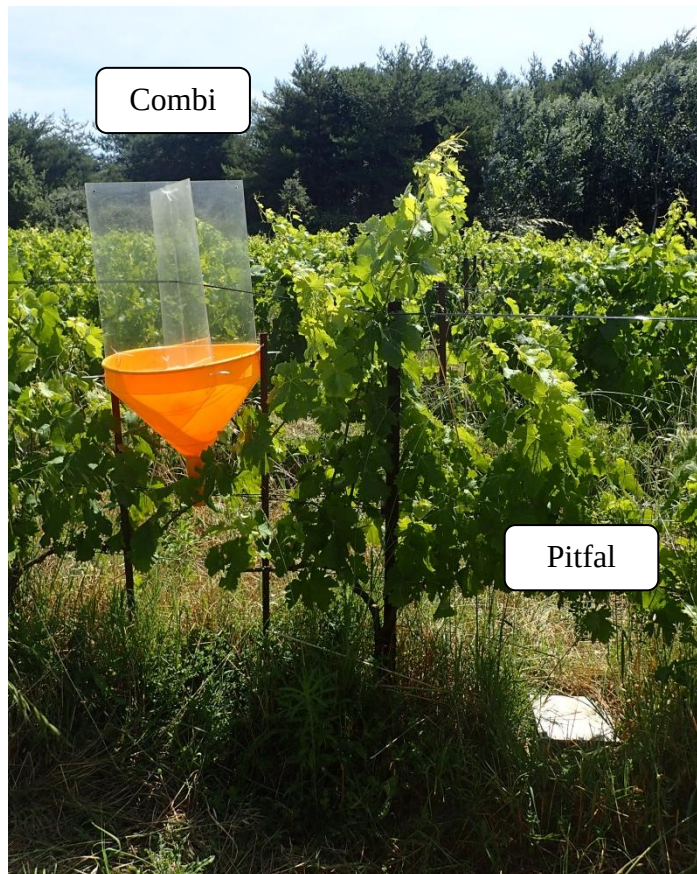


Figure 12. Détail d'un poste de piégeage dans une parcelle avec enherbement total.

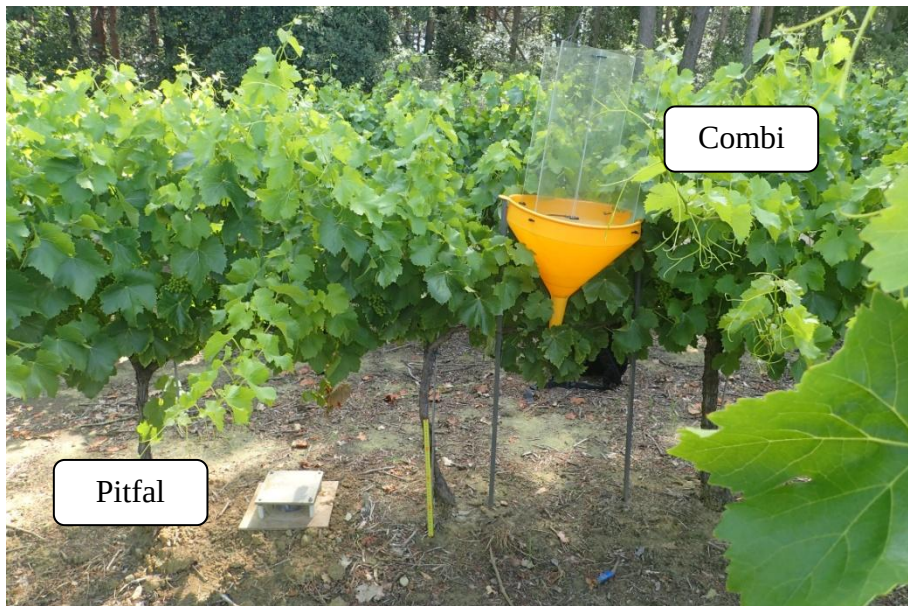


Figure 13. Détail d'un poste de piégeage dans une parcelle avec un sol nu.

individus. L'identification des individus se fait jusqu'à l'Ordre ; les niveaux taxonomiques inférieurs comme la famille, le genre et l'espèce ne sont généralement pas pris en considération. Pour étudier chaque individu au sein de l'Ordre qui lui correspond, trois conditions sont nécessaires pour les identifier : la taille, la couleur et la morphologie. Ainsi ils sont classés dans des groupes différents nommés « Morphotypes » (MT) (Figure 15).

Tout MT est codé avec les deux premières lettres de son Ordre, suivies d'un numéro (ex : HE01 : premier morphotype des Hétéroptères). Un ou plusieurs individus caractéristiques de chaque MT sont placés dans un tube à essai numéroté et constituent au fur et à mesure la « collection de référence » (Guenser, 2008). Cette dernière sert de support à l'expérimentatrice lors du travail d'identification et permet de compléter la collection par de nouveaux MT.

L'ensemble des récoltes est conservé dans des flacons ou des tubes à essai contenant de l'éthanol à 70 %. Tous les individus collectés qui sont inférieurs à deux millimètres ainsi que les larves sont conservés à part pour une éventuelle analyse ultérieure par un spécialiste.

2.2. Traitement et analyse des données

Les données sont organisées et examinées grâce au tableur Excel 2007. Les calculs de longueur (élément linéaire) et surface (éléments surfaciques) sont faits à partir Géoportail ©. Les traitements statistiques sont effectués avec le logiciel R.

2.2.1. Détermination des variables « arthropodes »

Dans un premier temps, la diversité intrabiotope (Diversité α) des arthropodes est calculée grâce à deux variables : l'abondance et la richesse morphotypique (RMT). Ainsi, des différences entre postes de piégeage et entre semaines peuvent être mises en évidence à l'aide de ces deux variables. Les abondances et les RMT totales et moyennes sont examinées. A ce moment de l'étude, aucune distinction n'est faite entre les pièges (Combi ou Pitfal), pour avoir une représentation globale du cortège des arthropodes.

La composition taxonomique des peuplements est examinée avec l'abondance et la RMT. Ainsi, des dominances de peuplements peuvent être mises en lumière.

La diversité interbiotope (diversité α) est obtenue par le calcul d'indices. L'indice de diversité commun est l'indice Shannon-Weaver : H' (Shannon & Weaver, 1963) toujours accompagné par l'indice de Pielou : R (indice de régularité) (Pielou, 1966).

Voici les formules pour chacun d'eux :



Figure 14. Illustration des relevés hebdomadaires en fonction du type de piège



Figure 15. Morphotype LE07 pour Lépidoptère numéro 7

$$H' = -\sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right]$$

n_i = Nombre d'individus du morphotype i dans la zone analysée.

N = Nombre d'individus total dans la zone analysée.

Si tous les individus d'un peuplement proviennent d'un même morphotype alors $H' = 0$. De plus, H' est minimal si dans un peuplement chaque morphotype est représenté par un seul individu. En revanche, si tous les individus sont répartis de manière équilibrée dans tous les morphotypes alors l'indice de Shannon-Weaver est maximal.

$$R = H' / H_{\max}$$

H' = Indice de Shannon-Weaver

$H_{\max} = \log_2 (S)$. $H_{\max}$ correspond à l'indice maximal théorique d'un peuplement.

S = Richesse spécifique (ici $S = RMT$ total) : Nombre total de morphotypes du peuplement.

Cet indice est compris entre 0 et 1. Il est maximal lorsqu'un seul morphotype domine tous les autres et maximal quand les abondances sont identiques dans le peuplement.

2.3. Analyse de la structure paysagère

L'analyse paysagère est réalisée au moyen de photographies aériennes provenant de Google Earth © et de Geoportail ©, à partir desquelles sont calculées de variables paysagères.

2.3.1. Détermination des variables paysagères (occupation des sols)

L'aire et le périmètre d'éléments surfaciques sont calculés à l'aide de photographies aériennes.

Un premier cercle de 20 m de rayon est établi avec pour centre le poste de piégeage. Ainsi, tous les éléments appartenant à ce cercle sont définis en pourcentage d'occupation. Les variables pourcentage de vigne, de forêt et d'autres ainsi que la densité de lisière sont mesurées.

Ensuite, un second cercle de 50 m de rayon est élaboré avec également pour centre le poste de piégeage. Les mêmes éléments inclus dans ce cercle sont caractérisés par un pourcentage d'occupation.

La variable distance entre le poste et la forêt la plus proche est également prise en compte.

2.3.2. Détermination des variables relative à l'état de surface

L'itinéraire culturel⁵ est un biais reconnu difficile à mettre en place car il nécessite la

⁵Itinéraire culturel : « combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée. » (Sebillotte, 1974).

prise en compte d'une multitude de paramètres. Il façonne les états de surface des sols, qui peuvent être caractérisés à partir de plusieurs variables :

Pourcentage de sols nus : pourcentage de sol non recouvert (taupinière, turricule, fente de dessiccation, sol croulé, mousses...).

Pourcentage de litière : pourcentage de recouvrement du sol par des débris végétaux assez fins en cours de décomposition, présence de sarments.

Pourcentage d'enherbement : pourcentage de recouvrement par de la végétation herbacée.

Hauteur d'enherbement : hauteur moyenne des surfaces enherbées ;

Nombre d'espèces végétales présentes.

Chacune de ces variables est définie distinctement dans les rangs et à l'inter-rang de chaque poste de piégeage, dans un périmètre d'un mètre de rayon et sont relevées à des moments pertinents eu égard les itinéraires culturaux et la période d'échantillonnage (S01, S04 et S10).

Les traitements effectués sur la vigne sont aussi pris en compte chaque semaine : huiles essentielles, soufre, cuivre et tonte de l'herbe dans les rangs et écrasement de celle-ci entre les rangs au rofolca⁶.

2.3.3. Détermination des données météorologiques

Les données météorologiques comme les températures, la pluviométrie et la vitesse du vent sont récupérées chaque semaine. Ces données sont ensuite synthétisées afin d'établir une moyenne cumulée hebdomadaire représentant chaque semaine échantillonnée.

2.4. Traitement statistique des données

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R 3.1.2 à travers le progiciel Rcmdr. Les tests et analyses effectués pour l'étude sont développés ci-dessous. L'interprétation des tests (hypothèse formulée) figure en annexe.

2.4.1. Évaluation du lien entre deux variables quantitatives

Pour mesurer un lien entre deux variables, un test de corrélation est nécessaire. Le jeu de données étant inférieur à 30, dès lors, même si les conditions de normalité semblent respectées, un test non-paramétrique de Spearman (Rs) est utilisé car il est plus robuste que le test paramétrique de Pearson.

⁶ « rouleau équipé de lames verticales ayant pour objectif de gérer la pousse de l'herbe dans l'inter-rang en couchant, cassant ou pinçant le couvert végétal. Cela perturbe la circulation de la sève et ralentit la pousse, et permet de créer un mulch ».

2.4.2. Évaluation des différences entre les moyennes

Pour tester les effets d'une variable quantitative à plusieurs modalités (variable explicative) sur la valeur moyenne d'une variable quantitative (variable à expliquer), une ANOVA à un facteur peut être effectuée si les conditions d'application sont respectées : normalité de la distribution des échantillons, homogénéité de la variance des échantillons (=homoscédasticité) avec le test de Bartlett.

La reconnaissance d'un effet du facteur n'informe pas sur l'organisation des modalités. En effet, un test comparaisons Post-hoc de moyenne (ou test de comparaisons multiples de moyennes) peut être effectué pour compléter l'ANOVA. Le test de Tukey HSD permet de constituer des groupes de moyennes homogènes, c'est-à-dire des groupes de modalités conduisant à des moyennes identiques de la variable d'intérêt.

En revanche, lorsque les conditions ne sont pas vérifiées pour le test de l'ANOVA, un test non paramétrique dit de : Kruskal-Wallis est réalisé.

2.4.3. Évaluation des différences entre les systèmes de culture

Pour le domaine de Solan, 11 postes de piégeage sont disposés sur 3 semaines d'échantillonnage ce qui équivaut à 33 données recueillies. Pour la partie conventionnelle : 2 postes de piégeage pour également 3 semaines d'échantillonnage soit 6 données. Comme les jeux de données récoltées correspondent aux systèmes de culture (Agroécologique vs Conventionnel) ne sont pas identiques, un test de Student est réalisé si les conditions suivantes sont respectées : 1) les variables suivent une loi normale (test de Shapiro-Wilk) et si cette première condition n'est pas vérifiée, un second test est employé pour évaluer l'homoscédasticité des variances, avec le F de Snedecor.

Par contre, si les conditions ne sont pas confirmées, une alternative est proposée avec un test Q de Cochran.

3. Résultats

Les 2 postes de piégeage placés au sein des vignes conduites en conventionnel ayant été mises en place à partir seulement de la dixième semaine de piégeage, cette étude se focalisera dans un premier temps sur l'analyse des 11 postes de piégeage disposés sur le domaine du monastère de Solan, et ce pour 12 semaines de piégeage. Dans un second

temps, elle s'attachera à comparer les deux systèmes de conduite de la vigne : celui des parcelles du monastère de Solan et celui des parcelles conduites en conventionnel, et ce seulement sur les trois dernières semaines de piégeage.

3.1. Résultats généraux, 11 postes de piégeage

3.1.1. Abondance et RMT par poste de piégeage

Sur les 12 semaines d'échantillonnage, 23 330 individus ont été capturés et identifiés sur un total de 11 postes de piégeage. Lorsque les 11 postes de piégeage sont comparés entre eux, les valeurs de l'abondance sont comprises entre 1251 (Poste 4) et 3909 individus (Poste 6). Six postes de piégeage possèdent une abondance excédant les 2000 individus (Figure 16).

Les valeurs de RMT s'échelonnent entre 231 (Poste 10) et 326 morphotypes (Poste 11) pour un nombre total de 738 morphotypes. Tous les postes ont une RMT supérieure à 200 morphotypes et seulement trois postes (1, 9 et 11) vont au dessus de 300 morphotypes.

Deux des trois postes (9 et 11) contenant plus de 300 morphotypes font également partis des postes présentant la plus forte abondance (2606 et 2717 individus), avec le poste 6 dont l'abondance est dominante (3909 individus) (Figure 17).

Dans l'ensemble, graphiquement l'abondance semble être liée à la RMT : plus l'abondance est élevée plus la RMT semble l'être également. Néanmoins, cette tendance n'est pas vérifiée constamment, comme le montre le poste 10 avec 2113 individus pour seulement 231 morphotypes. Ce poste possède en effet la 6^{ème} abondance la plus élevée mais la RMT la plus faible (231).

D'après le calcul de Schao², de l'ordre de 1216 morphotypes devraient être recensés sur le domaine de Solan (Schao²=1216,05). Étant donné que seulement 738 morphotypes ont été observés, cela laisse supposer qu'il y en aurait environ 478 qui n'auraient pas été observés dont probablement une part importante de morphotypes rares.

3.1.2. Abondance et RMT par taxons

L'abondance en fonction des Ordres d'arthropodes varie de 25% soit 5838 individus pour l'Ordre des Hyménoptères à 0%, soit 1 individu pour les Ordres des Siphonaptères et des Mécoptères. Les 3 ordres ayant les plus fortes valeurs d'abondances sont les Hyménoptères (25%, avec 5838 individus), puis les Coléoptères (24% avec 5572 individus) et enfin des Diptères (14%, avec 3155 individus) (Figure 19).

En ce qui concerne la richesse morphotypique des Ordres d'arthropodes, les valeurs vont de 175 à 1 morphotype.

Les trois premiers Ordres les plus représentés sont les Coléoptères (175 RMT), les Hyménoptères (129 RMT) et les Araignées (80 RMT) pour un total de 738 morphotypes. La

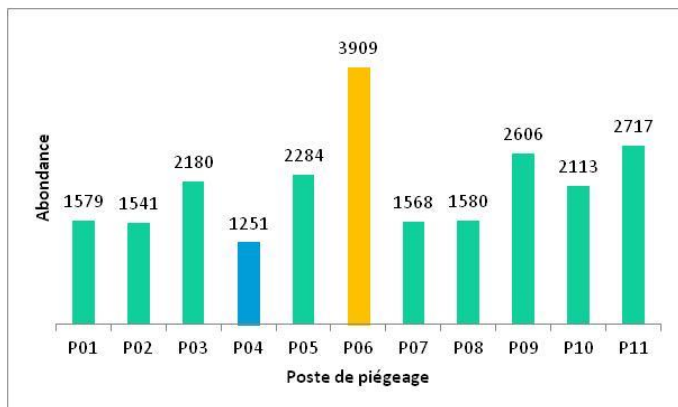


Figure 16.Évolution de l'abondance des arthropodes en fonction des postes de piégeage sur les 12 semaines de relevés.

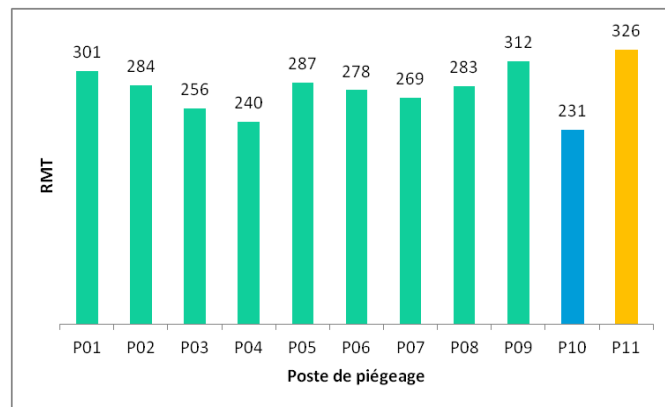


Figure 17. Richesse morphotypique (RMT) des arthropodes en fonction des postes de piégeage pendant les 12 semaines de relevés.

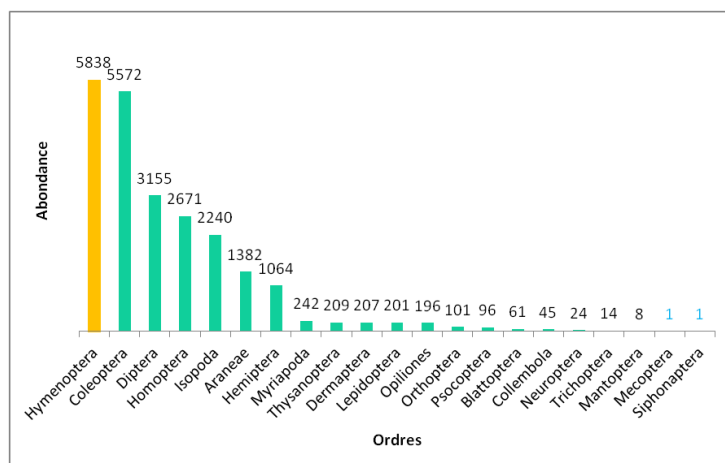


Figure 19. Abondance des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 11 postes de piégeage pour les 12 semaines d'échantillonnage.

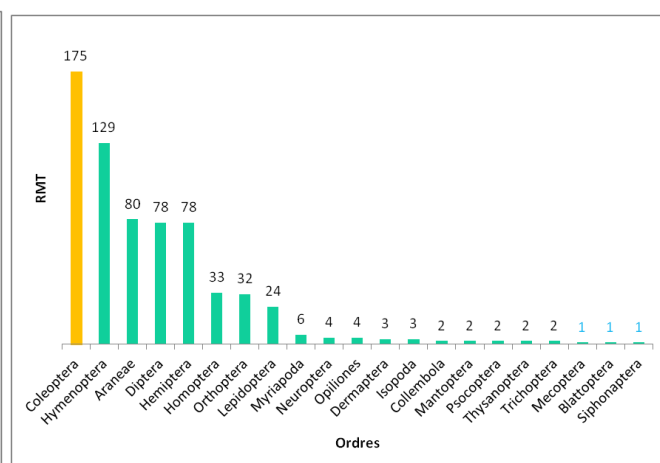


Figure 18. Richesse morphotypique (RMT) des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 11 postes de piégeage pour les 12 semaines de relevés.

sous représentation des Lépidoptères, l'un des 4 Ordres d'insectes les plus nombreux avec les Coléoptères, les Hyménoptères et les Diptères, montre l'une des limites de cette méthode de piégeage qui, bien que balayant un large spectre d'espèces d'arthropodes, est en partie sélective (Figure 19).

3.1.3. Abondance et RMT dans le temps

Les valeurs hebdomadaires d'abondance fluctuent entre 1019 pour la semaine 12 et 2943 individus pour la semaine 8 (Figure 21). Les valeurs extrêmes de richesse morphotypique diffèrent des valeurs extrêmes d'abondance. En effet, la plus faible valeur est de 185 morphotypes pour la semaine 6 et de 254 morphotypes pour la semaine 10 (Figure 22).

Les conditions météorologiques des deux premières semaines, en particulier les faibles températures (cumulées) et les fortes pluies (cumulées), expliquent certainement la faible abondance des arthropodes pour les deux premiers piégeages. La baisse d'abondance (1248 individus) pour la semaine 6, de même que la faible RMT (185) pour cette même semaine, semblent être en lien avec les fortes vitesses de vent relevées. Les vitesses du vent cumulées sur cette semaine sont de 201 km/h.

3.1.4. Comparaison avec les 3 études menées sur les Costières de Nîmes, en 2011, 2012, et 2013

En raison de la subjectivité de la méthode RBA, mais aussi en raison des conditions propres à chaque année d'étude, les comparaisons de la présente étude avec toute autre étude menée de surcroît dans un environnement et une autre année doivent être réalisées avec les plus grandes réserves qu'il se doit. Les trois études menées dans les Costières de Nîmes ainsi que l'étude menée sur le domaine du monastère de Solan ayant été conduites sur des durées, des nombres de postes et une densité de pièges différents, dès lors, de manière à faciliter les comparaisons nous avons ramené les résultats de chaque étude au nombre d'individus ou de morphotypes par semaine et par poste de piégeage sur vigne.

Ainsi, à titre indicatif, par rapport aux trois autres études menées dans le Gard en 2011, 2012 et 2013 sur vigne et dans un contexte pédo-climatique proche, les données obtenues sur Solan présentent une abondance clairement plus faible (177 individus par poste et par semaine) mais une richesse morphotypique nettement plus élevée (5,59 morphotypes par poste et par semaine). Ces résultats, indiquent une plus forte biodiversité apparente et vont dans le sens des modalités de gestion viticoles de la communauté de Solan (Tableau 2).

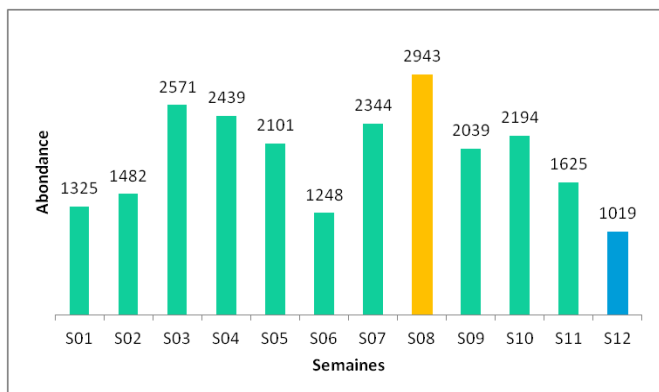


Figure 21.Évolution de l'abondance pour 11 postes de piégeage sur 12 semaines de relevés.

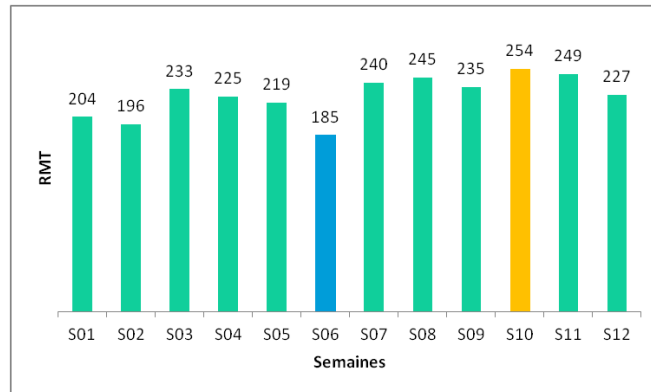


Figure 22. Évolution de la Richesse Morphotypique (RMT) pour les 11 postes de piégeage sur les 12 semaines de relevés.

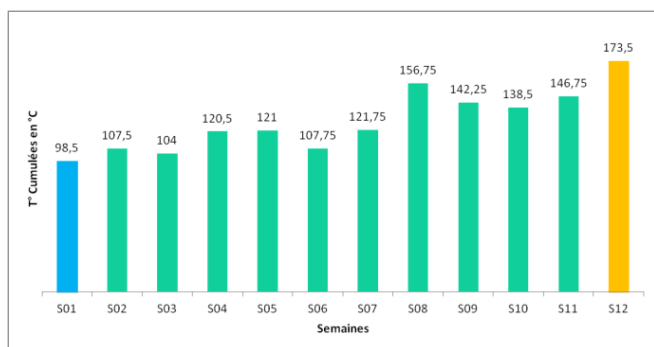


Figure 23. Températures cumulées sur une semaine en degrés Celsius (°C) pour chaque semaine ayant précédé les relevés.

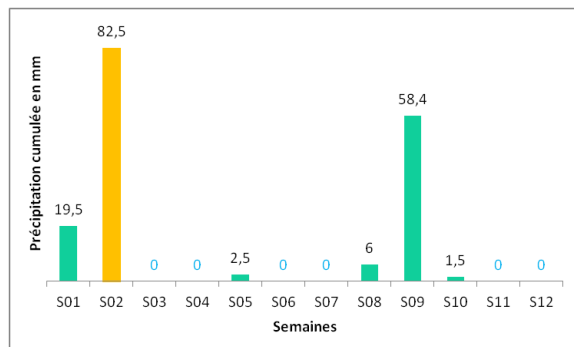


Figure 20. Vitesses du vent cumulées, sur une semaine, en km/h pour chaque semaine ayant précédé les relevés.

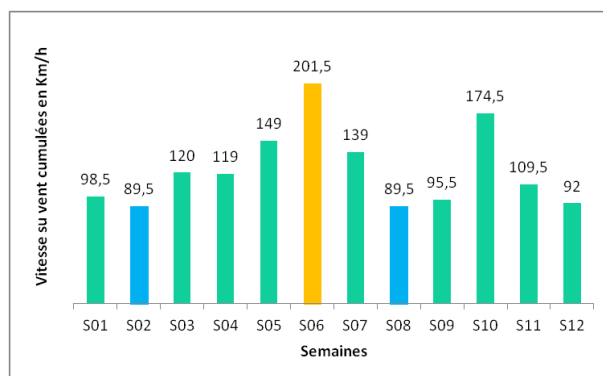


Figure 24. Précipitations cumulées en mm, pour chaque semaine ayant précédé les relevés.

3.2. Test de l'hétérogénéité des données en arthropodes

Dans un premier temps, avant de tester l'influence des variables environnementales, il est nécessaire de vérifier l'existence de différences inter-pièges pour les variables arthropodes. Dans cette perspective, nous effectuons des comparaisons de moyennes entre les pièges pour l'abondance et la richesse morphotypique. Les échantillons statistiques correspondent aux pièges et les semaines aux répétitions. Les données brutes ayant servi aux calculs sont présentées dans l'annexe 4.

3.2.1. Comparaison de l'abondance inter-pièges

Nous cherchons à vérifier si la distribution de la variable Abondance suit une loi normale à l'aide du test de Shapiro-Wilk (Tableau 1 et Figure 25).

La p-value des 11 tests de Shapiro étant supérieure au risque α de 5% (**Tableau 3**), les échantillons se distribuent selon une loi normale. En revanche, l'hypothèse de différence des variances n'est pas vérifiée (Bartlett's K-squared = 56.3281, df = 10, p-value = 1.782e-08).

Les conditions de validité n'étant pas vérifiées, un test de Kruskal-Wallis est effectué : Kruskal-Wallis chi-squared = 35.8246, df = 10, p-value = 9.022e-05.

L'hypothèse nulle est rejetée : au moins une des deux abondances moyennes diffère significativement des autres.

3.2.2. Comparaison de la RMT inter-pièges

La p-value des 11 tests de Shapiro étant supérieure au risque α de 5% (Tableau 5), les échantillons se distribuent selon une loi normale.

De même, les tests d'homoscédasticité sont vérifiés (Bartlett's K-squared = 11.1182, df = 10, p-value = 0.3484).

Les conditions étant respectées, nous procédons à une ANOVA à un facteur, ce facteur étant la poste d'échantillonnage.

Les résultats de l'ANOVA (Tableau 6) conduisent au rejet de l'hypothèse nulle au seuil de risque de 5%. Au moins une des richesses morphotypiques moyennes diffère des 10 autres.

Par conséquent, au sein du domaine du Monastère de Solan, le site d'échantillonnage influe sur les abondances et sur la richesse morphotypique.

Tableau 2. Tableau comparatif des différentes études effectuées dans le Gard (30) entre 2011 et 2015 sur l'évolution des arthropodes dans les vignes.

	Semaines	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	Total	Tot/Post e/Sem	Année
B.Porté (5 Stations)	Ind															2011
	RMT	221	207	229	237	238	180	156	208	203	182	—	—	—	—	
Y.Lefort (25)	Ind	6715	9774	7655	8334	5028	7181	—	—	—	—	—	—	44687	297.91	2012
	RMT	222	327	331	348	301	396	—	—	—	—	—	—	570	3.76	
C.Crouzy (25)	Ind	10400	7600	6390	10368	9290	7200	6100	8400	6890	5863	—	—	78860	315.44	2013
	RMT	340	276	280	330	325	285	287	310	348	330	—	—	615	2.46	
N.Planté (11)	Ind	1325	1482	2571	2439	2101	1248	2344	2943	2039	2194	1625	1019	23330	177	2015
	RMT	204	196	233	225	219	185	240	245	235	254	249	227	738	5,59	

Tableau 1. Abondance par piège (P01, P02, ...) et par semaine (S01, S02, ...) d'échantillonnage. Les valeurs surlignées en orange représentent les abondances les plus fortes par semaine et en bleu les abondances les plus faibles par semaine.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
S01	149	114	75	119	90	165	51	93	129	124	214
S02	83	91	162	125	139	71	86	182	146	137	260
S03	168	214	289	188	272	317	173	195	269	216	270
S04	229	259	177	167	306	227	143	165	238	260	268
S05	51	184	165	152	352	253	123	118	220	123	360
S06	102	87	54	100	98	167	107	87	91	121	234
S07	115	89	308	187	234	321	235	129	237	298	191
S08	109	71	556	41	238	738	199	179	369	173	270
S09	183	92	152	34	151	606	85	143	289	132	172
S10	135	119	127	61	231	462	121	161	248	333	196
S11	141	104	71	43	96	458	169	59	240	88	156
S12	114	117	44	34	77	124	76	69	130	108	126

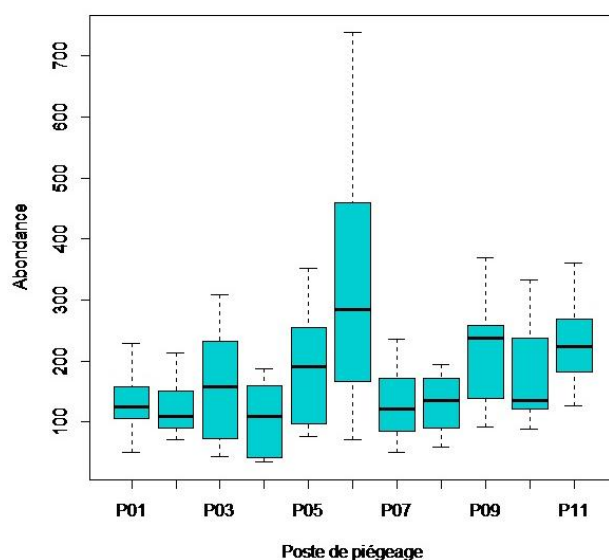


Figure 25. Boîte à moustaches de la variable Abondance par piège (P01, P02, ...) et par semaine S01, S02, ...).

Tableau 3. P-value des tests de Shapiro-Wilk sur les données de la variable Abondance par poste de piégeage sur 12 semaines de relevés.

Stations	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
P-value	0.98	0.80	0.82	0.88	0.91	0.93	0.95	0.93	0.94	0.85	0.96

3.3. Analyses des corrélations entre variables

3.3.1. Relations entre variables météorologiques et variables Arthropodes

Nous avons recherché les éventuelles corrélations entre les variables météorologiques et les variables Abondance et RMT de chaque semaine. Pour ce faire, nous avons calculé les coefficients de Spearman (Tableau 7). Les températures sont corrélées à la richesse morphotypique à hauteur de 64%. La quantité de morphotypes augmente avec les températures. Durant les 12 semaines de relevés, plus il fait chaud plus des espèces différentes sont piégées.

3.3.2. Relations entre variables arthropodes

Nous avons recherché les éventuelles corrélations (Spearman) entre les variables Abondance et RMT, selon que nous les analysons par semaine (Tableau 9) ou par poste de piégeage (Tableau 8).

D'après les résultats présentés dans le Tableau 9, selon une comparaison hebdomadaire l'abondance et la richesse morphotypique sont corrélées à hauteur de 51%. Cela signifie donc qu'à l'échelle de l'ensemble du domaine, plus l'abondance est élevée et plus la richesse morphotypique est élevée.

L'indice de Shannon est corrélé à 96 % avec l'indice de Pielou. Ce lien est normal car le calcul de l'indice de Pielou découle du calcul de l'indice de Shannon. L'indice de Shannon est également corrélé avec l'abondance (62%), tout comme l'indice de Pielou (76%). Ces résultats soutiennent les remarques émises lors de l'observation des précédents graphiques (Tableau 10).

3.3.3. Relations entre variables arthropodes et variables environnementales

Pour le total des 12 semaines de relevés sur l'ensemble des 11 postes de piégeage, nous avons recherché les éventuelles corrélations (Spearman) entre les abondances, les RMT, les indices de Shannon, les indices de Pielou et les différentes variables environnementales prospectées (Tableau 11). De cette recherche de corrélation, au risque d'erreur de 5% aucun lien n'apparaît entre les variables environnementales et les variables caractérisant la diversité en arthropodes. En revanche, au risque d'erreur de 10%, une relation semble exister ($r_s = 0,55$; $p\text{-value} = 0,08$) entre le pourcentage de forêt dans un rayon de 20m autour des postes de piégeage et la RMT.

Tableau 4. Richesse morphotypique par piège (P01, P02, ...) et par semaine (S01, S02, ...) d'échantillonnage. En orange les valeurs les plus fortes par semaine et en bleu les valeurs les plus faibles par semaine.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
S01	48	45	25	39	41	55	35	37	52	55	59
S02	34	47	46	50	54	37	43	60	44	57	68
S03	64	66	65	60	67	73	65	66	81	63	72
S04	69	52	58	53	65	62	60	75	75	71	76
S05	32	51	66	53	55	58	58	69	70	47	74
S06	46	33	20	36	45	61	48	49	48	53	59
S07	57	39	57	62	70	70	54	61	70	77	57
S08	51	40	51	22	71	79	69	68	85	59	77
S09	56	44	58	29	64	72	60	34	87	50	64
S10	78	58	67	37	63	63	45	61	63	66	76
S11	76	53	46	27	57	58	60	34	63	39	69
S12	48	58	28	22	56	47	36	33	49	39	54

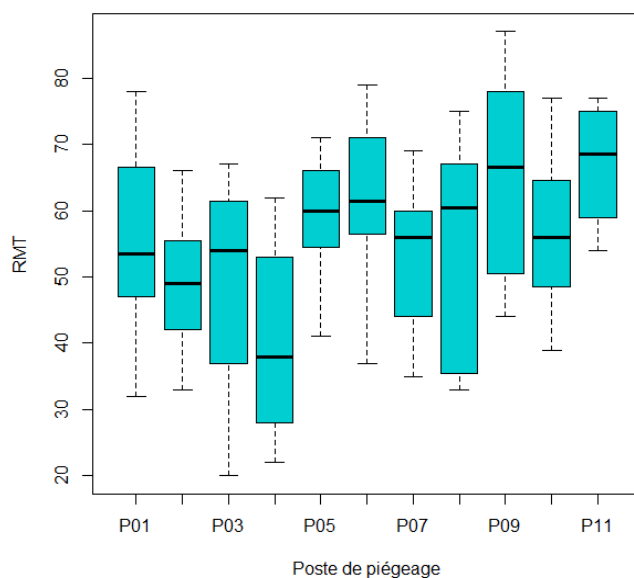


Figure 26. Boîte à moustaches de la variable richesse morphotypique par piège et par semaine.

Tableau 5. P-value des tests de Shapiro-Wilk sur les données de la variable RMT par poste

Stations	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
P-value	0.95	0.98	0.88	0.92	0.93	0.96	0.93	0.86	0.93	0.97	0.90

Tableau 6. Tableau récapitulatif de l'ANOVA.

	Df	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)
Station	10	7141	714.1	4.341	3.39e-05***
Residuals	121	19905	164.5		

3.4. Influence du système de culture (agroécologie / agriculture conventionnelle)

3.4.1. Présentation des données

3.4.1.1. *Abondances et RMT par pièges*

Sur les 3 semaines d'échantillonnage, 5327 individus sont identifiés. Lorsque les 13 postes de piégeage sont comparés entre eux, les valeurs sont comprises entre 138 (Poste 4) et 1044 individus (Poste 6). Cinq postes de piégeage possèdent une abondance excédant les 400 individus (Figure 27).

Les valeurs de RMT s'échelonnent entre 65 (Poste 11) à 159 morphotypes (Poste 1) pour un nombre total de 457 morphotypes. Quasiment tous les postes de piégeage ont une RMT supérieure à 100 morphotypes et seulement trois postes (4,12 et 13) se situent en dessous de 75 morphotypes (Figure 28).

Deux de ces trois postes (4 et 12) contenant moins de 70 morphotypes font partis des abondances (138,176) les plus faibles, en dessous de 200 individus.

Dans l'ensemble, graphiquement, l'abondance et la RMT semblent liées : plus l'abondance est faible plus la RMT l'est également. Néanmoins, cette tendance n'est pas vérifiée pour chaque poste, comme le montre le poste 1 avec 390 individus pour 157 morphotypes. Ce poste possède seulement la sixième plus forte valeur d'abondance mais a la valeur de RMT la plus forte (159).

D'après le calcul du Schao², en réalité, il devrait avoir 501 morphotypes (Schao²=500,77) et nous en avons observé 457, il y aurait 44 morphotypes rares.

3.4.1.2. *Abondances et RMT par taxons*

Sur les trois semaines de relevés, l'abondance en fonction des Ordres d'arthropodes varie entre 2350 individus (44%) pour l'Ordre des Hyménoptères, 1 individu pour l'Ordre des Siphonaptères et des Mécoptères. Les 3 ordres ayant la plus forte valeur sont les Hyménoptères (2350 individus, 44%), puis les Coléoptères (681 individus, 13%) et enfin les Diptères (614 individus, 12%)(Figure 29). En ce qui concerne la richesse morphotypique des Ordres d'arthropodes, les valeurs vont de 110 à 1 morphotype. Les trois premiers Ordres les plus représentés sont les Coléoptères (110 RMT), les Hyménoptères (96 RMT) et les araignées (56 RMT) pour un total de 457 morphotypes (Figure 30).

Tableau 7. Matrice des corrélations (coefficients de Spearman et p-value) entre les variables météorologiques et les variables Abondance et RMT par semaines. La Cellule surlignées en rouge représente la seule valeur significative du coefficient de Sperman (rs) au risque d'erreur de 5%.

	T°Cum (°C)	P. Cum (mm)	V. Cum (Km/h)
Abondance	rs : 0.035 p-value : 0.92	rs : -0.0746 p-value : 0.81	rs : 0.0701 p-value : 0.83
RMT	rs : 0.6434 p-value : 0.03	rs : -0.168 p-value : 0.60	rs : -0.014 p-value : 0.97

Tableau 9. Matrice des corrélations (coefficient de Spearman et p-value) entre les variables Abondance et RMT par semaine.

	Abondances	RMT
RMT	rs : 0.5105 p-value : 0.09	
Abondances		rs : 0.5105 p-value : 0.09

Tableau 8. Matrice des corrélations (coefficient de Spearman et p-value) entre les variables Abondance et RMT par station de piégeage.

	Abondance	RMT
RMT	rs : 0.4784 p-value : 0.14	
Abondance		rs : 0.4784 p-value : 0.14

Tableau 10. Matrice des corrélations (coefficient de Spearman et p-value) entre les variables Abondance, RMT, indice de Shannon et indice de Pielou par station de piégeage

	Abondance	RMT	Indice de Shannon H	Indice de Pielou R
RMT	rs : 0.4419 p-value : 0.17		rs : 0.0592 p-value : 0.86	rs : -0.082 p-value : 0.81
Indice de Shannon H	rs : -0.6273 p-value : 0.04	rs : 0.0592 p-value : 0.86		rs : 0.9545 p-value : 0
Indice de Pielou R	rs : -0.7273 p-value : 0.02	rs : -0.082 p-value : 0.81	rs : 0.9545 p-value : 0	

3.4.2. Comparaison des moyennes

Pour les 13 postes, les abondances ainsi que les RMT n'ayant pu être obtenues que pour 3 relevés successifs (semaines 10, 11 et 12), par poste le nombre de données est donc insuffisant pour évaluer correctement leur normalité. Dès lors, de manière à disposer de jeux de données de dimensions suffisantes, nous avons respectivement regroupé l'ensemble des valeurs des abondances et des RMT par type de système de conduite, agroécologie *versus* conventionnel. Ce sont ces données-là qui seront donc comparées.

3.4.2.1. Variable abondance

Les calculs descriptifs de la variable Abondance ont été effectués selon le système de conduite des parcelles de vigne.

La moyenne des abondances est 1,8 fois plus élevée sur les parcelles de vigne conduites de manière agroécologique. Le coefficient de variation pour les abondances des parcelles de vigne conduites en agroécologie (CV = 0,71) est cependant 2 fois plus élevé que celui obtenu pour les parcelles en conventionnel (CV = 0,38), témoignant d'une plus grande dispersion autour de la moyenne des valeurs d'abondance pour les parcelles en agroécologie (Tableau 13).

Respectivement pour les deux systèmes de conduites, à l'aide du test de Shapiro-Wilk nous avons cherché à vérifier si la distribution de la variable Abondance suit une loi normale. La variable Abondance suit une loi normale seulement pour le mode de culture conventionnel (Tableau 12).

Un test d'homogénéité des variances a été effectué à partir du F de Snedecor : $F = 10796.50/967.50 = 11.1589$.

D'après la table de Snedecor, le F théorique (degrés de liberté respectifs de 30 et de 5) est de 4.4957. La valeur du F théorique étant inférieure à la valeur du F observée, les variances peuvent être considérées comme hétérogènes. Les conditions n'étant par conséquent pas requises pour le test de Student, il ne peut être appliqué et il est conseillé d'utiliser un test de Cochran que nous ne mettrons pas en œuvre.

3.4.2.2. Variable RMT

La moyenne des RMT est 1,67 fois plus élevée sur les parcelles de vigne conduites de manière agroécologique (Tableau 16). Le coefficient de variation des RMT des parcelles de vigne conduites en agroécologie (CV = 0,28) est très proche de celui obtenu pour les parcelles

en conventionnel ($CV = 0,27$), témoignant d'une dispersion similaire autour de la moyenne des RMT pour les deux systèmes de conduite.

Tableau 11. Matrice des corrélations (coefficient de Spearman et p-value) entre les variables Abondance, RMT, indice de Shannon et indice de Pielou par poste de piégeage.

	Vigne (%), pour R = 20 m	Forêt (%), pour R = 20 m	Autres (%), pour R = 20 m	1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 20 m	Vigne (%), pour R = 50 m	Forêt (%), pour R = 50 m	Autres (%), pour R = 50 m	1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 50 m	Distance avec la forêt (m)
Abondance	rs : 0.0734 p-value : 0.83	rs : 0.3237 p-value : 0.33	rs : -0.4606 p-value : 0.15	rs : 0.2422 p-value : 0.47	rs : -0.1545 p-value : 0.65	rs : -0.0182 p-value : 0.97	rs : 0.1 p-value : 0.78	rs : -0.0642 p-value : 0.85	rs : -0.1182 p-value : 0.73
RMT	rs : -0.0368 p-value : 0.91	rs : 0.5534 p-value : 0.08	rs : -0.4383 p-value : 0.18	rs : 0.4643 p-value : 0.15	rs : 0.0501 p-value : 0.88	rs : 0.5239 p-value : 0.10	rs : -0.5513 p-value : 0.08	rs : 0.046 p-value : 0.90	rs : -0.4556 p-value : 0.16
Indice de Shannon H	rs : -0.3853 p-value : 0.24	rs : 0.2602 p-value : 0.44	rs : 0.3675 p-value : 0.27	rs : 0.3475 p-value : 0.30	rs : -0.1818 p-value : 0.60	rs : 0.5364 p-value : 0.09	rs : -0.3455 p-value : 0.30	rs : -0.1376 p-value : 0.69	rs : -0.3909 p-value : 0.24
Indice de Pielou R	rs : -0.2877 p-value : 0.39	rs : 0.0468 p-value : 0.89	rs : 0.4 p-value : 0.22	rs : 0.1704 p-value : 0.62	rs : -0.046 p-value : 0.90	rs : 0.3954 p-value : 0.23	rs : -0.3265 p-value : 0.33	rs : -0.116 p-value : 0.73	rs : -0.2345 p-value : 0.49

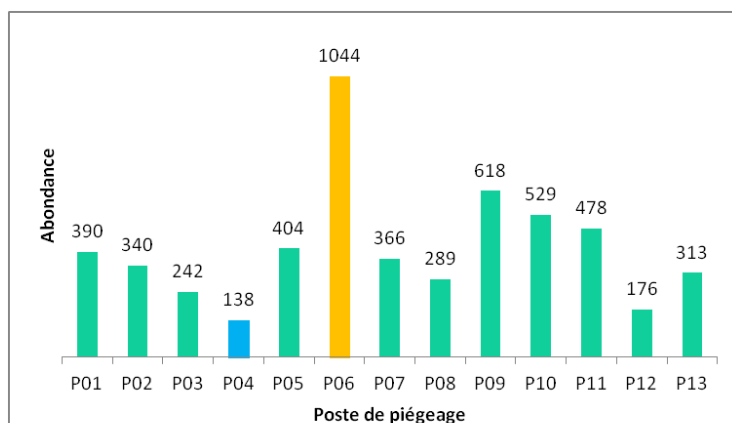


Figure 27. Abondance des arthropodes pour les 13 postes de piégeage sur 3 semaines de relevés.

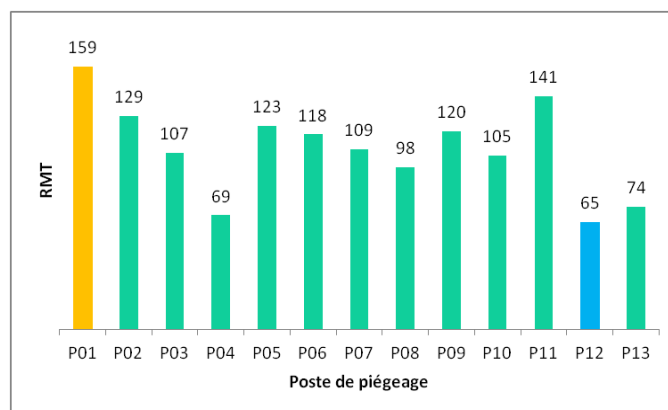


Figure 28. Richesse morphotypique des arthropodes pour les 13 postes de piégeage sur 3 semaines de relevés.

Respectivement pour les deux systèmes de conduites, nous avons cherché à vérifier si la distribution de la variable RMT suit une loi normale à l'aide du test de Shapiro-Wilk. La variable RMT suit une loi normale pour les deux systèmes de conduite (Tableau 17) .

Un test d'homogénéité des variances a ensuite été calculé à partir du F de Snedecor : $F = 220.50/73.47 = 3$.

D'après la table de Snedecor, le F théorique (degrés de liberté respectifs de 30 et de 5) est de 4.4957. La valeur du F théorique étant supérieure à la valeur du F observée, les variances peuvent être considérées comme homogènes. Les conditions de normalité et d'égalité des variances étant requises un test de Student peut être effectué.

Le résultat du test de Student rejetant l'hypothèse nulle (p-value : 0.00079), les deux moyennes diffèrent l'une de l'autre de manière significative.

Par conséquent, le système de conduite influe de manière significative sur la richesse morphotypique.

4. Discussion

Le milieu méditerranéen représente l'un des 25 réservoirs de biodiversité globale (« Hot Spot ») les plus prodigieux au monde (Myers et *al.*, 2000). C'est dans ce contexte que sur seulement 60 ha, le domaine du monastère de Solan concentre une mosaïque d'habitats atypiques (prairie humide méditerranéenne, forêts de Chênes vert, forêts de peupliers riveraines et méditerranéennes, nombreuses lisières, divers cortèges végétaux inféodés à la diversité des sols...). Cette grande richesse, associée à la structuration du site selon un petit parcellaire, et à la présence sur le domaine de la quasi totalité d'un petit bassin versant, confère au site un caractère singulier. Des écarts notables sont constatés entre la biodiversité mesurée dans les vignes sur le domaine de Solan au cours de cette étude et celle relevée dans le cadre des précédentes études qui ont été effectuées dans des vignobles de contextes pédo-climatiques similaires. D'autre part, au cours de cette étude des écarts statistiquement significatifs ont été mis en évidence entre la biodiversité des parcelles de vigne du domaine de Solan et d'une parcelle voisine conduite selon un système très conventionnel. Ainsi, malgré toutes les réserves qui doivent être associées à la subjectivité de la méthode RBA, il est raisonnable de penser que la biodiversité sur les parcelles de vigne du domaine de Solan affiche une richesse supérieure à la moyenne des vignes sur un contexte similaire.



Figure 29. Abondance des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 13 postes de piégeage durant les 3 semaines d'échantillonnage.

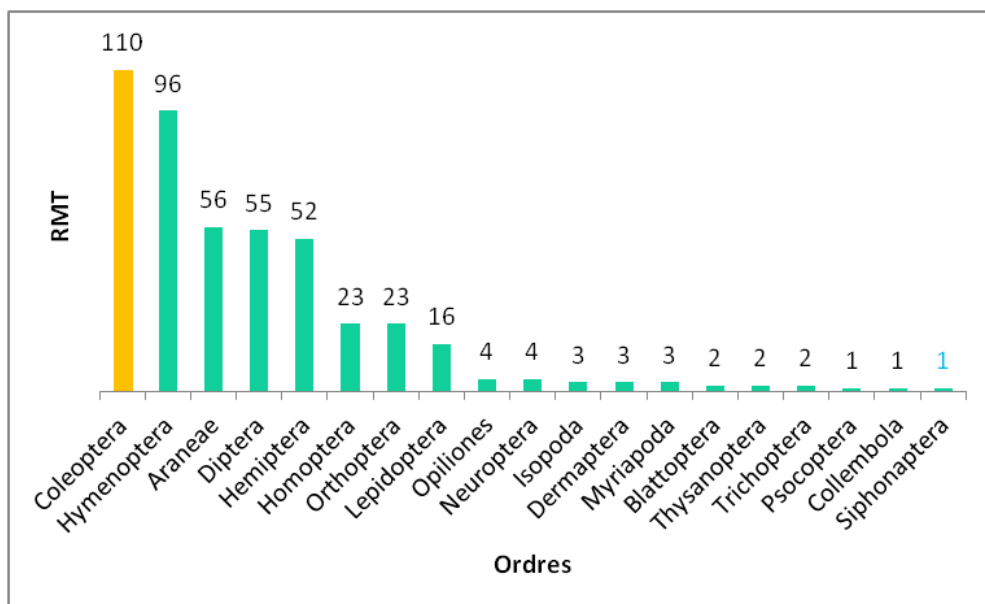


Figure 30. Richesse morphotypique (RMT) des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 13 postes de piégeage durant des 3 semaines de relevés.

Les résultats de la présente étude attestant d'une richesse morphotypique opulente, confortent dès lors nos premières attentes face à ces caractères extraordinaires et complexes. Les soins particuliers apportés par les sœurs au domaine de Solan, qui ont fait le choix de travailler avec la biodiversité et non contre, renforcent clairement celle-ci.

Cette étude établit en outre une première distribution de la diversité approximative des Ordres rencontrés sur les parcelles de vigne au temps « t0 ». Cette étape est nécessaire dans la perspective d'évaluer les effets des prochains aménagements agroécologique et/ou des éventuelles perturbations du milieu telle que la dramatique obligation administrative de traiter les vignes contre la flavescence dorée (avec du pyrèthre, seule molécule active qui est autorisée en agriculture biologique).

Un autre des différents objets de l'étude a été de rechercher une influence significative de la structure paysagère sur la diversité des arthropodes. Seule une corrélation entre les variables RMT et le pourcentage de forêt sur 20 m a pu être mise en évidence. L'imbrication très diversifiée de petites parcelles semi-naturelles comme celles cultivées, rend difficile une interprétation fine des résultats obtenus, et pourrait être une explication de l'absence de corrélations significatives statistiquement entre les RMT et les variables environnementales.

De plus, les corrélations entre les arthropodes et les variables environnementales mises en lumière dans des systèmes conventionnels peuvent être expliquées par des sols nus et l'utilisation constante d'herbicides : cette pratique provoque certainement un gradient des populations d'arthropodes entre le centre et les bordures des parcelles de vigne. Sur le domaine de Solan comme l'enherbement est permanent et intégral, et qu'aucun herbicide n'est employé, très probablement que ce gradient est significativement amoindri. La mosaïque de petites parcelles agricoles et forestières associée au vaste corridor écologique que crée l'enherbement dans les parcelles de vigne, tendraient ainsi à homogénéiser la diversité en arthropodes à l'échelle du domaine du monastère de Solan.

L'analyse de nouveaux indices de structures paysagères est vivement recommandée, de même la poursuite des calculs d'indices de biodiversité, lesquels n'ont pu être correctement menés faute de temps. Il serait par ailleurs intéressant d'approfondir les données récoltées en distinguant la faune du sol (Pitfal) de la faune aérienne (Combi) dont les capacités de dispersions sont plus grandes. Une meilleure prise en compte des états de surface du sol, et notamment de l'enherbement devrait peut-être pouvoir aider à mieux appréhender la diversité du milieu.

Enfin, au delà des biais liés à la subjectivité de la méthode RBA, une autre limite réside dans le fait que la diversité des arthropodes inférieurs à 2 mm n'est pas considérée ; pourtant, dans

Tableau 15. Tableau récapitulatif des abondances par station de piégeage durant les 3 semaines de relevés.

Abondance	Agroécologie											Conventionnelle	
Semaines	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
S10	135	119	127	61	231	462	121	161	248	333	196	69	134
S11	141	104	71	43	96	458	169	59	240	88	156	60	81
S12	114	117	44	34	77	124	76	69	130	108	126	47	98
Moyenne	129,47	113,13	73,48	44,68	119,52	297,15	115,83	86,86	197,79	146,82	156,77	57,95	102,08
Variance	134,00	66,33	1792,33	189,00	7050,33	37636,00	2163,00	3161,33	4348,00	18508,33	1233,33	122,33	732,33

Tableau 14. Tableau de synthèse de la variable RMT en fonction des 13 stations de piégeage.

RMT	Agroécologie											Conventionnel	
Semaines	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
S10	78	58	67	37	63	63	45	61	63	66	76	36	43
S11	76	53	46	27	57	58	60	34	63	39	69	30	30
S12	48	58	28	22	56	47	36	33	49	39	54	17	32
Moyenne	65,77	56,28	44,19	28,01	58,59	55,58	45,98	40,90	57,94	46,48	65,67	26,38	34,56
Variance	187,56	8,33	381,00	58,33	14,33	67,00	147,00	252,33	65,33	243,00	126,33	94,33	49,00

Tableau 13. Moyennes et coefficients de variation (écart-type rapporté à la moyenne) obtenus en fonction du système de conduite.

	Agroécologie	Conventionnel
Nbre de données	33	6
Abondance	4838	489
Moyenne	146,61	81,50
Coefficient de variation	0,71	0,38

Tableau 12. Résultats des p-valeurs du test de Shapiro-Wilk.

Test de Shapiro-Wilk	Agroécologie	Conventionnel
P-value	0.79	0.94

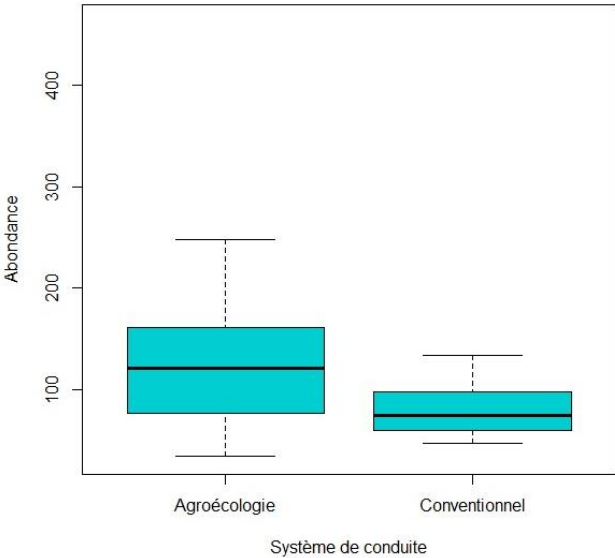


Figure 32. Boîte à moustaches de la variable Abondance en fonction du système de conduite des parcelles de vigne.

Tableau 16. Moyennes et coefficients de variation (écart-type rapporté à la moyenne) obtenus en fonction du système de conduite.

	Agroécologie	Conventionnel
Nbre de données	33	6
RMT	405	195
Moyenne	52,39	31,33
Coefficient de variation	0,28	0,27

Tableau 17. Résultats du test de Shapiro-Wilk sur la variable RMT en fonction du mode de conduite de la vigne.

Test de Shapiro-Wilk	Agroécologie	Conventionnel
P-value	0.96	0.93

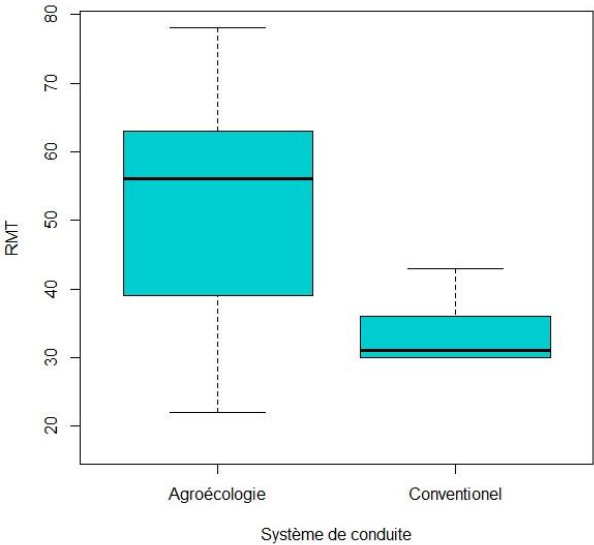


Figure 31. Boîte à moustaches de la variable richesse morphotypique en fonction du système de conduite de la vigne.

celle-ci se trouve un nombre considérable de parasitoïdes⁷ qui jouent un rôle déterminant dans la régulation des populations d'arthropodes ravageurs de culture. Quand au piège « Combi », il ne prend pas en compte la globalité des ordres aériens, le piège reste malgré tout sélectif, les Lépidoptères (papillons) sont sous-représentés, tout comme les Odonates (libellules et demoiselles).

La méthode considère uniquement l'Ordre des arthropodes pourtant une détermination jusqu'à l'espèce amènerait des informations complémentaires sur les comportements propres aux guildes et permettrait également de savoir si les espèces rencontrées dans les vignes sont inféodés au milieu ou pas.

La méthode RBA comporte certains biais reconnus lors de la création de certains morphotypes. En effet, la couleur, la taille et la forme de certains peuvent amener à considérer deux individus dans deux morphotypes différents alors que l'espèce contient une variabilité intra-spécifique (le dimorphisme sexuelle ou des différences liées au stade de développement). Cet effet se nomme « splitting ». À l'inverse, plusieurs espèces à la couleur, la taille et la forme similaire peuvent être identifiées comme un seul et même morphotype. Cet effet est dit de « lumping ».

5. Conclusion

Le domaine du monastère de Solan est un exemple merveilleux de préservation et de conservation de la biodiversité. Les résultats mettent en lumière une richesse morphotypique supérieure à la moyenne des vignes sur un contexte similaire. Aucune cicadelle dorée n'a été récoltée dans les pièges entre le 15 avril et le 5 juillet 2015. Un seul lien est mis en évidence entre la structure paysagère et la diversité des arthropodes (variables RMT et le pourcentage de forêt sur 20 m de rayon). L'absence d'autres corrélations peut être expliquée par la complexité du milieu où s'entremêlent les micro-parcelles semi-naturelles et cultivées et rend difficile une interprétation fine des résultats.

La diversité des arthropodes récoltés sur le domaine, donne une information sur les Ordres rencontrés mais pas sur la diversité fonctionnelle du milieu. Une analyse plus approfondie des échantillons par des experts peut apporter des réponses complémentaires à cette étude.

⁷ Parasitoïde : Organisme qui se développe à l'intérieur d'un hôte en dévorant progressivement ses organes (Ramade F., 2008)

Figure 1. Diversité des arthropodes rencontrés sur le domaine du Monastère de Solan.....	1
Figure 2. Représentation schématique d'un paysage	14
Figure 3. Estimation du nombre d'insectes pour les principaux Ordres en France.(Source OPIE : Office Pour les Insectes et leur Environnement, 2012)	18
Figure 4. Nombre d'espèces décrites et estimation minimale du nombre d'espèces existantes D'après WCMC, 1992. Global biodiversity assessment. Chapman & Hall	18
Figure 5. Illustration de 4 morphotypes (source Planté N., 2015).....	20
Figure 6. Carte de France. En rouge représentation du département de Gard (30).	20
Figure 7. Représentation du domaine de Solan.....	22
Figure 8. Colonie de phytoplasme(microscope optique grossissement 20X) (Source : Assunta Bertaccini, 2014). Image grossie au microscope optique x20.....	28
Figure 9. Cicadelle de la flavescence dorée (Scaphodeus titanus) (Soucre : Yerpo, 2014)	28
Figure 10. Symptôme de flavescence dorée sur cépage rouge de Cabernet-Sauvignon (Source Inra, Eveillard S., 2013).....	28
Figure 11. Calendrier détaillant le mise en route du projet Arthropode.....	32
Figure 12. Détail d'un poste de piégeage dans une parcelle avec enherbement total.	36
Figure 13. Détail d'un poste de piégeage dans une parcelle avec un sol nu.	36
Figure 14. Illustration des relevés hebdomadaires en fonction du type de piège	38
Figure 15. Morphotype LE07 pour Lépidoptère numéro 7	38
Figure 16.Évolution de l'abondance des arthropodes en fonction des postes de piégeage sur les 12 semaines de relevés.....	46
Figure 17. Richesse morphotypique (RMT) des arthropodes en fonction des postes de piégeage pendant les 12 semaines de relevés.....	46
Figure 18. Richesse morphotypique (RMT) des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 11 postes de piégeage pour les 12 semaines de relevés.	46
Figure 19. Abondance des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 11 postes de piégeage pour les 12 semaines d'échantillonnage.	46
Figure 20. Vitesses du vent cumulées, sur une semaine, en km/h pour chaque semaine ayant précédé les relevés.....	48
Figure 21.Évolution de l'abondance pour 11 postes de piégeage sur 12 semaines de relevés.	48
Figure 22. Évolution de la Richesse Morphotypique (RMT) pour les 11 postes de piégeage sur les 12 semaines de relevés.....	48

Figure 23. Températures cumulées sur une semaine en degrés Celsius (°C) pour chaque semaine ayant précédé les relevés.	48
Figure 24. Précipitations cumulées en mm, pour chaque semaine ayant précédé les relevés.	48
Figure 25. Boîte à moustaches de la variable Abondance par piège (P01, P02, ...) et par semaine S01, S02, ...).	50
Figure 26. Boîte à moustaches de la variable richesse morphotypique par piège et par semaine.	52
Figure 27. Abondance des arthropodes pour les 13 postes de piégeage sur 3 semaines de relevés.....	56
Figure 28. Richesse morphotypique des arthropodes pour les 13 postes de piégeage sur 3 semaines de relevés.	56
Figure 29. Abondance des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 13 postes de piégeage durant les 3 semaines d'échantillonnage.	58
Figure 30. Richesse morphotypique (RMT) des Ordres d'arthropodes par ordre décroissant pour les 13 postes de piégeage durant des 3 semaines de relevés.....	58
Figure 31. Boîte à moustaches de la variable richesse morphotypique en fonction du système de conduite de la vigne.	60
Figure 32. Boîte à moustaches de la variable Abondance en fonction du système de conduite des parcelles de vigne.	60
Figure 33. Détail d'un poste de piégeage	75
Figure 34. Courbe de raréfaction de la diversité des Ordres nouveaux cumulés en fonction des semaines pour les 11 postes de piégeage.	78
Figure 35. Courbe de raréfaction de la diversité des Ordres nouveaux cumulés en fonction des semaines.	80

Références bibliographiques

Publications scientifiques :

- Benton, G., Juliet, A., Wilson, V., Wilson, J., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key ? *TRENDS in Ecology and Evolution*, **18**: 4.
- Boller, E.F., Häni, F., Poehling, H.M., 2004. Ecological Infrastructures: Ideabook on functional Biodiversity at the farm Level. Commission on Integrated Production Guidelines and Endorsement, pp 212.
- Burel, F. & Baudry, J., 1999. *Ecologie du paysage – Concepts, méthodes et applications*. Editions Tec et Doc, Lavoisier, pp. 360.
- Clergue B., Amiaud B., Pervanchon F., Lasserre-Joulin A F., Plantureux S., 2005. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 25, 1-15.
- César G., 2011. L'avenir de la viticulture française : entre tradition et défi du Nouveau Monde. Rapport d'information fait au nom de la commission des Affaires économiques et du Plan par le groupe de travail (2) sur l'avenir de la viticulture française. Sénat session extraordinarie 2011-2012
- Chatellier, V., 2014. La compétitivité des filières agricoles françaises, du local à l'international. La lettre du CGAAER (Conseil Général d l'Alimentation, de l'Agriculture et des espaces ruraux). N°94 décembre.
- Constant F. & Lernould J., 2014 La gestion de la flavescence dorée en viticulture biologique.
- Cotes, B., Campos, M., Pascual, P., García, P.A., Ruano, F., 2010. Comparing taxonomic levels of epigeal insects under different farming systems in Andalusian olive agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 44: 228-236.
- Duelli P., 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 62, 81-91.
- Duelli P., Obrist M.K., Schmatz D.R., 1999. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: above-ground insects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 33-64.
- Duelli, P. and Obrist, M.K., 2010. Rapid biodiversity assessment of arthropods for monitoring average local species richness and related ecosystem services, *Biodiversity and Conservation Biology*, 19 : 2201–2220.
- Fiedler, A., Landis, D.A., Wratten, S.D., 2008. Maximizing ecosystem services from conservation biological control : The role of habitat management. *Biological Control*, **45**: 254-271.

Forman R.T.T., 1995. Land mosaics. The ecology of landscape and regions. Cambridge University Press, 632 p.

Forman, R.T.T. & Godron, M., 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, 619 pp.39

Hanski, I., Gaggiotti, O.E., 2004. Metapopulation Ecology, Genetics and Evolution (editions Hanski, I., Gaggiotti, O.E.). Academic Press, San Diego.

Henry A. (2011). Quels indicateurs pour évaluer la biodiversité en ville ? Chaire ParisTech. Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures.

Harvey, C.A., Villanueva, C., Villac, J., Chaco, M., Muñoz, D., López, M., Ibrahim, M., Gómez, R., Taylor, R., Martinez, J., Navas, A., Saenz, J., Sánchez, D., Medina, A., Vilchez, S., Hernández, B., Perez, A., Ruiz, F., López, F., Lang, I., Sinclair, F.L., 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111: 200-230.

Hilty, J. & Merenlender, A., 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, 92 : 185-197.

Johnson H., Robenson J., 2002. L'Atlas Mondial du Vin, 5e édition, Flammarion.

Krell, F.T., 2004. Parataxonomy vs. taxonomy in biodiversity studies – pitfalls and applicability of ‘morphospecies’ sorting. *Biodiversity and Conservation*, 13: 795-812.

Kruess A., Tscharntke T., 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Sciences*, 264, 1581-1584.

Lenda, M., Skórka, P., 2010. Patch occupancy, number of individuals and population density of the Marbled White in a changing agricultural landscape. *Acta Oecologica*, **36** : 497-506.

Myers N.; Mittermeier R. A., Mittermeier C;G., Da Fonseca G. A., Kent J., “Biodiversity hotspots for conservation priorities”. In *Nature*, 403, 6772, pp. 853-858, 2000.

Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, 86 p.

Nadin P., Muthmann R., 2007. The use of plant protection products in the European Union - Data 1992-2003. Eurostat-Statistical book, Luxembourg, Official Publications of the European Communities, 2007, 201 p.

Oliver, I., Beattie, A.J., 1993. A possible method for the rapid assessment of biodiversity. *Conservation Biology*, 7: 3.

Piélou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections, *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131-44.

Kindlmann, P. & Burel, F., 2008. Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology*, 23 : 879-890.

Shannon C. E. & Weaver W., 1963. The mathematical theory of communication. *Urbana University Press*, Illinois, 117 pp

Villaume S. 2011. Emploi salarié dans le secteur agricole : le poids croissance de contrats saisonniers. Institut National de la Statistiques et des Études Économiques N°1368

Ward, D.F. & Larivière, M.C., 2004. Terrestrial invertebrate surveys and rapid biodiversity assessment in New Zealand : lessons from Australia, *New Zealand Journal of Ecology*, 28(1) : 151-159.

Woodwell G. M., 1967. Toxic substances and ecological cycles. *Scientific American*, **216:3**, 24-31.

Worall F., Besien T., 2005. The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells. *Journal of Hydrology*, 303, 92-107.

Yen, A.L., Butcher, R.J., 1997. An overview of the conservation of non-marine invertebrates in Australia. Environment Australia, Canberra, Australia.

Mémoires, Thèses et Rapports :

Chuche J., 2010. Comportement de *Scaphoideus titanus*, conséquence spatiale et démographique. Thèse pour le doctorat de l'université de Bordeaux 2, 215 pp.

Crouzy, C., 2013. Evaluation du lien entre la diversité en arthropodes du parcellaire viticole et son environnement paysager. *Stage de fin d'étude de l'Université de Poitiers*, réalisé à l'Institut Français de la Vigne et du Vin, 76 pp.

Fargeas, E., 2005. Influence de la structure du paysage sur la pression des insectes ravageurs de la vigne. Mémoire de fin d'études, Diplôme d'ingénieur de l'E.N.I.H.P., 46pp.

Guenser, 2008. Test d'une méthode simplifiée d'évaluation de la biodiversité des arthropodes dans les parcelles viticoles à l'échelle du paysage. Diplôme d'agronomie approfondi, INPEnsa Toulouse, pp. 53.

Lefort, Y., 2012. Étude de la diversité en arthropodes en fonction de la structure paysagère au sein du territoire viticole des Costières de Nîmes. *Stage de fin d'étude de l'Université Claude Bernard, Lyon 1*, réalisé à l'Institut Français de la Vigne et du Vin, 94 pp.

Pain G., 2001. Effets de la fragmentation des milieux sur la structure spatiale et la dynamique des populations animales : Contribution de l'analyse écologique du paysage au développement des modèles d'évaluation environnementale. Thèse présentée devant l'école nationale supérieure agronomique de Rennes, N° d'ordre : 2001-13, N° de série : D-37.

Porte, B., 2011. Estimation de la biodiversité par une méthode simplifiée d'identification des arthropodes. Approche paysagère à l'échelle du territoire viticole des Costières de Nîmes.

Stage de fin d'étude des Université Aix-Marseille I et III, réalisé à l'Institut Français de la Vigne et du Vin, 82 pp.

Livres

Boller E.F., Häni F., Poehling H.M., 2004. Ecological Infrastructures: Ideabook on functional Biodiversity at the farm Level. Commission on Integrated Production Guidelines dan Endorsement, pp 212

Delahaye, T., 2011. Le monastère de Solan, une aventure agroécologique. Actes sud, 118 pp.

Ramade F., (2005). Éléments d'Écologie – Écologie appliquée, 6e édition, DUNOD, Paris.

Ramde F. , Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité Ed. Dunod (2008)

Reuves spécialisées

INRA, janvier 2010. Ecophyto R&D : Quelles voies pour réduire les pesticides ?, 8pp.

Ouvrages utilisés par l'identification des arthropodes :

Chinery, M., 1986. Insectes de France et d'Europe Occidentale. *Flammarion*, 320pp.

Sentenac, G. & al., 2011. La faune auxiliaire des vignobles de France. Éditions France Agricole, 442p.

Sites internet

<http://www.galerie-insecte.org>

Annexes

Annexe 1. Organisation du stage

Tableau 18. Tableau de présentation des interventions effectuées lors du stage

Intervenant	Idée originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Collecte des données	Analyses statistiques	Rédaction
Principal	SN & HO	HO	PN	PN	PN	PN
Secondaire	HO	PN	HO,AV & SN		HO	HO &AV

PN, Planté Nadège, stagiaire.

HO, Hébrard Olivier, maître de stage.

SN, Sœur Nicodimie, encadrante agroécologie

AV, Albouy Vincent, encadrant en entomologie (garde fou)

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Lire les rapports						
Pièges : Inventorier, laver, réparer et monter						
Tester un poste de piégeage						
Inventaire et devis de matériel nécessaire à l'étude						
Les commandes : où, comment et combien						
Réfléchir à la pertinence du protocole						
Réfléchir au protocole pour le domaine de Solan et à l'extérieur						
Reflechir à la mise en place d'un studio de photographie macro						
Demande d'autorisation de prélèvement des insectes protégées						
Demande d'autorisation d'achat d'éthanol auprès des douanes						
Préparation du protocole						
Compte rendu hebdomadaire aux moniales						
Preparation de la logistique à mettre en place pour l'expérimentation						
Activation des 11 postes de piégeage et collecte hebdomadaire des arthropodes						
Analyse des échantillons d'arthropodes						
Activation des 2 postes de piégeage supplémentaires						
Statistiques						
Rédaction						
Bibliographie						
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août

Tableau 19. Calendrier du déroulement du stage

Annexe 2. Positionnement des 13 postes de piégeage







Annexe 3. Fiche de présentation de l'étude à l'attention des Amis de Solan

Présentation du protocole de mesure de la diversité en arthropodes 2015

L'association les « Amis de Solan » a pour objectif de soutenir le projet agroécologique du Monastère de Solan. En vue d'améliorer la gestion de la vigne, les soeurs souhaitent approfondir leurs connaissances des équilibres naturels qui entrent en jeu au sein des parcelles. Pour cela, **11 postes de piégeage** ont été mis en place dans les différentes parcelles de vigne du Domaine de Solan.

Chaque poste de piégeage est composé de 2 pièges non sélectifs d'arthropode pour permet d'évaluer la biodiversité générale.



Figure 33. Détail d'un poste de piégeage
(Source : Planté N., 2015)

(1) Le piège nommé « Combi » est constitué d'un entonnoir jaune couronné de 2 plaques de polymères thermoplastiques transparentes qui interrompt lors du vol les arthropodes volatiles. L'entonnoir est obturé par une bonde pour contenir un mélange constitué d'eau salée et de quelques gouttes de liquide vaisselle. Le sel conserve les individus piégés et le liquide vaisselle réduit la tension de surface de l'eau, les empêchant de remonter à la surface.

(2) Le piège nommé « Pitfall » est un piège-fosse. C'est un flacon déposé dans un tube de PVC enfoui à 30 cm de profondeur muni d'un entonnoir à la place du bouchon permettant ainsi aux individus de glisser à l'intérieur du flacon. Le réceptacle contient le même mélange que le piège « Combi ». Le piège est surmonté d'un petit toit pour le protéger de la pluie.

➤ Localisation des postes de piégeage

Le poste de piégeage est placé au centre d'un cercle qui représente l'endroit le plus éloigné de la végétation. Ce cercle est positionné de préférence au centre de la parcelle.

Le piège « Combi » est à environ un mètre du sol, il est positionné sur le rang de vigne entre 2 ceps. Son emplacement est réfléchi pour ne pas gêner les travaux du vigneron (rognage, écimage, rouleau dentelé pour pincer l'herbe et la coucher).

Le piège « Pitfall » est un tour de 10 cm de diamètre et 30 cm de profondeur, il ne gêne pas le viticulteur lors de ces intervention sur la parcelle de vigne.

Le rang de vigne sur lequel sont placés les pièges sera signalisé en bout de rang et de part d'autre du piège à environ 2 mètres pour faciliter leur localisation par le vigneron et l'expérimentatrice.

➤ Les relevés

Une fois par semaine, pendant 12 semaines, l'expérimentatrice viendra relever les réservoirs de chaque piège contenant les arthropodes. Le relevé sera effectué toujours le **même jour de la semaine**, c'est à dire **le mardi**.

Les pièges seront intégralement installés pour le vendredi 10 avril 2015.

Leur activation (début de la capture) se fera **le mardi 14 avril 2015** et le 1^{er} relevé aura lieu le mardi 21 avril 2015.

Les relevés dureront **12 semaines**, jusqu'au **mardi 7 juillet 2015** date du dernier relevé.

➤ L'analyse paysagère par cartographie

L'analyse du paysage autour de chaque poste de piégeage se fera à l'aide d'un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) nommé Qgis. Des BD Ortho (images aériennes) de 2010 seront utilisées pour l'analyse. **Des déplacements de l'expérimentatrice autour de chaque poste de piégeage seront probablement nécessaires pour témoigner de la réalité des images.**

Annexe 4 Tableaux synthétiques des données récoltées pour les 11 postes de piégeage.

Tableau 21. Tableau synthétique des données récoltées pour 11 postes de piégeage sur 12 semaines.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
Abondance	1579	1541	2182	1251	2284	3909	1568	1580	2606	2113	2717
RMT	300	283	257	239	287	277	271	283	314	276	325
Indice Shannon	4,82	4,51	4,21	4,62	4,35	3,73	4,68	4,69	4,59	4,52	4,49
Indice Pielou	0,85	0,80	0,76	0,84	0,77	0,66	0,84	0,83	0,80	0,80	0,78
Max (Pi)	0,05	0,11	0,116	0,057	0,151	0,253	0,059	0,102	0,09	0,067	0,131
Ordre (Max(Pi))	AR25	IS01	HY97	DI01	CO110	HY66	IS01	IS01	IS01	HY01	IS01
Vigne (%), pour R = 20 m	100,00	77,40	94,43	70,65	100,00	100,00	61,40	55,51	34,62	51,46	67,89
Forêt (%), pour R = 20 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,00	33,42	0,00	32,11
Autres (%), pour R = 20 m	0,00	22,60	5,57	29,35	0,00	0,00	38,60	7,48	31,96	48,54	0,00
1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 20 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,56	31,83	44,17	0,00	27,85
Vigne (%), pour R = 50 m	59,00	64,86	28,24	68,40	68,34	60,43	25,11	42,44	28,87	54,01	55,58
Forêt (%), pour R = 50 m	41,00	17,62	14,90	5,77	0,93	10,80	20,70	41,62	34,90	0,00	35,51
Autres (%), pour R = 50 m	0,00	17,52	56,86	25,84	30,73	28,77	54,19	15,94	36,23	45,99	8,91
1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 50 m	26,28	30,98	30,73	6,11	9,80	18,84	15,36	12,73	12,73	0,00	12,73
Distance avec la forêt (m)	25,00	34,00	26,00	43,00	51,00	35,00	18,00	8,00	12,00	57,00	10,00
Position du poste	Centre	Centre	Centre	Centre	Centre	Centre	Bordure	Bordure	Bordure	Bordure	Bordure
Cépage	Cabernet	Syrah	Grenache	Merlot	Vermentino	Vermentino	Pinot	Grenache	Vermentino	Vermentino	Vermentino
Type de sol	Calcaire gréseux	Calcaire gréseux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Sables et grés	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Sables et grés	Sables et grés

Tableau 20. Tableaux synthétique des données récoltées par semaine pour les 12 postes de piégeage.

	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
Abondance	1325	1482	2571	2439	2101	1248	2344	2943	2039	2194	1625	1019
RMT	204	196	233	225	219	185	240	245	235	254	249	227
T. Cum (°C)	98,50	107,50	104	120,5	121	107,75	121,75	156,75	142,25	138,50	146,75	173,50
P. Cum (mm)	19,50	82,50	0	0	2,50	0	0	6	58,40	1,50	0	0
V. Cum (Km/h)	98,50	89,50	120	119	149	201,50	139	89,50	95,50	174,50	109,50	92

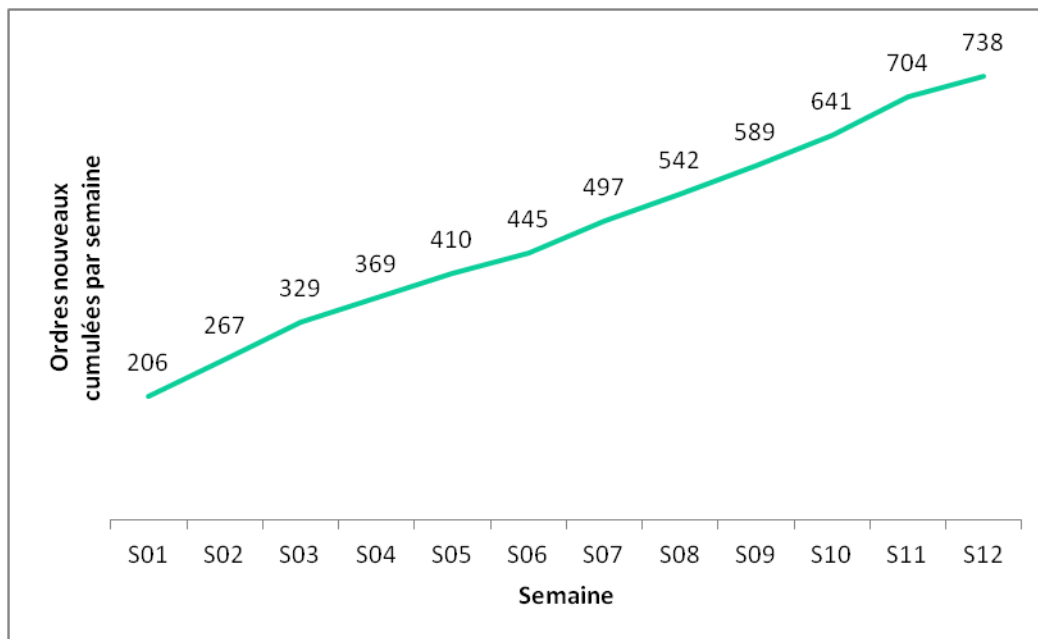


Figure 34. Courbe de raréfaction de la diversité des Ordres nouveaux cumulés en fonction des semaines pour les 11 postes de piégeage.

Annexe 5 Tableaux synthétiques des données récoltées pour les 13 postes de piégeage

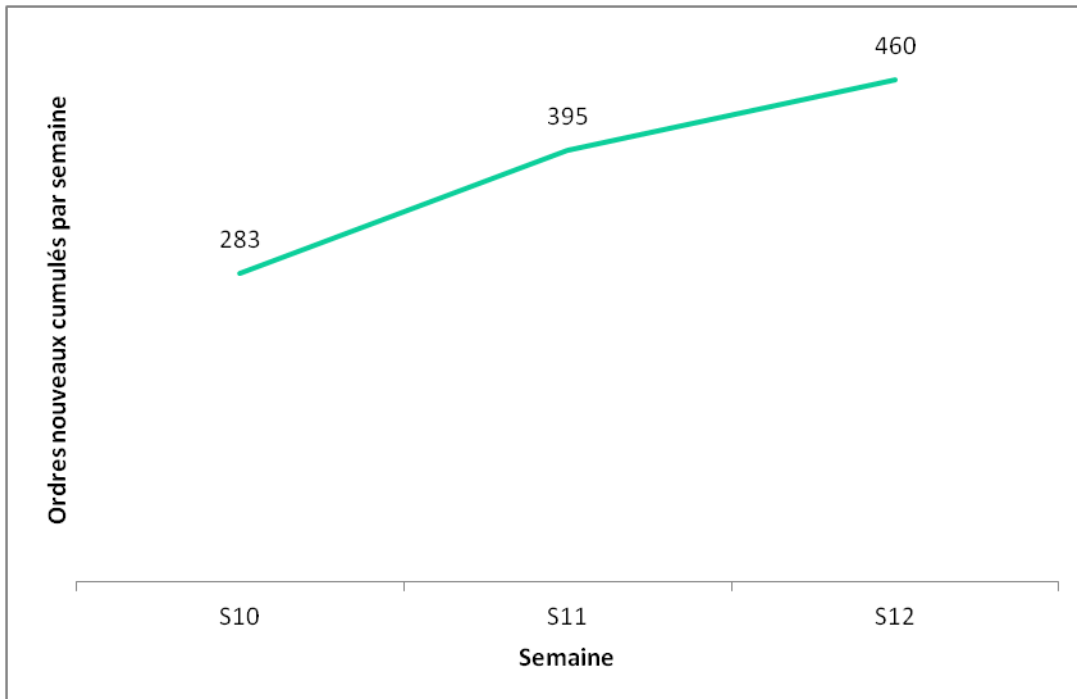
Tableau 22. Tableau synthétique des données correspondant aux 13 postes de piégeage sur 3 semaines.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
Abondance	390	340	242	138	404	1044	366	289	618	529	478	176	313
RMT	159	129	107	69	123	118	109	98	120	105	141	65	74
Indice de Shannon H	4,50	4,31	4,33	3,82	4,18	2,72	3,89	4,01	3,65	3,48	4,24	3,66	3,39
Indice de Pielou R	0,89	0,89	0,93	0,90	0,87	0,57	0,83	0,87	0,76	0,75	0,86	0,88	0,79
Max (Pi)	0,07	0,06	0,05	0,12	0,10	0,46	0,17	0,09	0,19	0,19	0,12	0,10	0,15
Ordre Max (Pi)	DI12	HY01	HO02	HY01	HY66	HY66	HY01	IS01	HY97	HY97	HY01	HO36	HY15
Vigne (%), pour R = 20 m	100,00	77,40	94,43	70,65	100,00	100,00	61,40	55,51	34,62	51,46	67,89	100,00	55,53
Forêt (%), pour R = 20 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,00	33,42	0,00	32,11	0,00	30,64
Autres (%), pour R = 20 m	0,00	22,60	5,57	29,35	0,00	0,00	38,60	7,48	31,96	48,54	0,00	0,00	13,83
1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 20 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,56	31,83	44,17	0,00	27,85	0,00	55,71
Vigne (%), pour R = 50 m	59,00	64,86	28,24	68,40	68,34	60,43	25,11	42,44	28,87	54,01	55,58	80,68	31,26
Forêt (%), pour R = 50 m	41,00	17,62	14,90	5,77	0,93	10,80	20,70	41,62	34,90	0,00	35,51	0,00	61,82
Autres (%), pour R = 50 m	0,00	17,52	56,86	25,84	30,73	28,77	54,19	15,94	36,23	45,99	8,91	19,32	6,92
1000 x densité de lisières arborés (m), pour R = 50 m	26,28	30,98	30,73	6,11	9,80	18,84	15,36	12,73	12,73	0,00	12,73	0,00	19,61
Distance avec la forêt (m)	25	34	26	43	51	35	18	8	12	57	10	71	8
Position du poste	Centre	Centre	Centre	Centre	Centre	Centre	Bordure	Bordure	Bordure	Bordure	Bordure	Centre	Bordure
Méthode de culture	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Agro-écologie	Conventi onnelle	Conventi onnelle
Cépage	Cabernet	Syrah	Grenache	Merlot	Vermentino	Vermentino	Pinot	Grenache	Vermentino	Vermentino	Vermentino	Syrah	Syrah
Type de sol	Calcaire gréseux	Calcaire gréseux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Sables et grés	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Calcaire argileux	Sables et grés	Sables et grés	Calcaire gréseux	Calcaire gréseux

Tableau 23. Tableau synthétique des données récoltées sur 3 semaines pour 13 postes de piégeage.

	S10	S11	S12
Abondance	2397	1766	1164
RMT	273	261	243
T. cum (°C)	138,50	146,75	173,50
P. cum (en mm)	1,50	0	0
V. cum (Km/h)	174,50	109,50	92

Figure 35. Courbe de raréfaction de la diversité des Ordres nouveaux cumulés en fonction des semaines.



Annexe 6 Présentation des différents tests et analyses effectuées sur R via le logiciel Rcmdr.

- **Test de normalités des données (échantillons, résidus) : test de Shapiro-Wilk**

Hypothèse nulle : Les données se distribuent selon une loi normale.

Hypothèse alternative : Les données ne se distribuent pas selon une loi normale.

- **Test d'homogénéité de k variances : test paramétrique de Bartlett**

Hypothèse nulle : les variances des k échantillons sont égales.

Hypothèse alternative : au moins une des variances diffère des autres.

- **Test de corrélation : test non paramétrique de Spearman**

Hypothèse nulle : les variables X1 et X2 sont indépendantes.

Hypothèse alternative : les variables X1 et X2 sont liées.

- **Analyse de variance (ANOVA)**

Hypothèse nulle : toutes les moyennes sont égales.

Hypothèse alternative : au moins une des moyennes testées diffère des autres.

- **Test non paramétrique de Kruskal-Wallis :**

Hypothèse nulle : toutes les moyennes sont égales.

Hypothèse alternative : au moins une des moyennes testées diffère des autres.

- **Rapport entre variance expliquée et variance résiduelle : test de Fisher**

Hypothèse nulle : le modèle n'est pas explicatif : la variance expliquée par le modèle est égale à la variance résiduelle (variance restant inexpliquée).

Hypothèse alternative : le modèle est explicatif : la variance expliquée par le modèle n'est pas égale à la variance résiduelle.

- **Test F de Snedecor**

Hypothèse nulle : les variances des k échantillons sont égales.

Hypothèse alternative : au moins une des variances diffère des autres.

- **Tests sur les paramètres estimés de la droite de régression (intercept et coefficients de régression) : Test de Student**

Hypothèse nulle : toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative : au moins une des moyennes testées diffère des autres.

Résumé

Dans ce formidable écrin de nature aujourd'hui labellisé Natura 2000 et Zone Spéciale de Conservation, la viticulture est la principale source de revenus des sœurs du Monastère de Solan, dans le Gard. De manière à pouvoir évaluer les impacts de possibles aménagements agroécologiques dans le futur, mais aussi du probable prochain passage administratif en zone de lutte obligatoire vis-à-vis de la maladie de la flavescence dorée, à travers cette étude les sœurs souhaitent en priorité prendre connaissance de la diversité en arthropodes de leurs parcelles. Les résultats de cette étude, qui s'est appuyée sur la méthode simplifiée RBA (Rapid Biodiversity Assessment) ont permis de montrer que la biodiversité du domaine de Solan semble supérieure à celle rencontrée dans les Costières de Nîmes et aux alentours du domaine de Solan.

Mots clés : agroécologie, arthropodes, biodiversité, vignes, flavescence dorée, méthode RBA