



HAL
open science

Techniques de gestion favorisant l'abondance des Osmies et des Mégachiles au sein du vignoble de Ribeauvillé

May-Li Batôt, Chantal Rabolin-Meinrad

► **To cite this version:**

May-Li Batôt, Chantal Rabolin-Meinrad. Techniques de gestion favorisant l'abondance des Osmies et des Mégachiles au sein du vignoble de Ribeauvillé. Sciences de l'environnement. 2021. hal-03345462

HAL Id: hal-03345462

<https://hal.inrae.fr/hal-03345462>

Submitted on 15 Sep 2021

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

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

Mémoire

Auteur : Batôt, May-Li

Promoteur(s) : Hambuckers, Alain; 12694

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/12615>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Techniques de gestion favorisant l'abondance des Osmies et des Mégachiles au sein du vignoble de Ribeauvillé



(Chantal Rabolin Meinrad 2021)

Etudiant :

M. Batôt

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de Master en biologie, à finalité
spécialisé en Biologie de la
conservation : biodiversité et gestion

Août 2021

Promoteur :

A. Hambuckers

Co-promoteur :

C. Rabolin-Meinrad

Comité de lecture :

M. Carnol

F. Francis

B. Frédérich

Remerciements

Je souhaiterais remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, toutes les personnes qui m'ont appris des choses, aidé à trouver des solutions à mes problèmes ou tout simplement épaulé.

Dans un premier temps je tiens à remercier ma co-promotrice Mme. Rabolin-Meinrad pour m'avoir permis de réaliser ce stage par sa disponibilité, son encadrement et sa bienveillance. Merci également d'avoir partagé avec moi ses connaissances en agronomie ou encore en botanique. Je remercie également mon promoteur M. Hambuckers qui m'a suivi dans cette aventure franco-belge et qui m'a aidé dans l'écriture et dans la relecture de ce mémoire. Merci à toute l'équipe AGISEM qui m'a accueilli mais tout particulièrement à M. Schneider qui m'a accompagné sur le terrain malgré le temps peu clément.

Dans un second temps je souhaiterais remercier tous mes amis, Julie, Juliette, Léa, Thomas, et j'en oublie certainement, qui m'ont soutenue et épaulée depuis l'annonce de mon sujet jusqu'au dépôt du rapport. Enfin, merci à mes proches et tout particulièrement à Mayeul et Charles pour m'avoir aidé dans la réalisation technique de mes dispositifs expérimentaux.

Merci à vous tous, sans vous ce travail ne serait que l'ombre de lui-même.

Résumé

Le déclin des abeilles sauvages est le résultat de multiples causes et notamment d'une agriculture intensive et peu respectueuse de l'environnement. De plus en plus d'alternatives se mettent en place pour diminuer cette pression. C'est dans ce contexte que s'inscrit le "Projet Biodiversité Remarquable" mis en place sur le vignoble du bassin versant de Ribeauvillé (Alsace, France). Ce projet a pour but de favoriser la biodiversité dans le vignoble en mettant en place des actions tant au niveau des pratiques viticoles qu'au niveau de la gestion du bassin versant. C'est ainsi qu'un mélange de graines de plantes mellifères a été semé en inter-rang sur une grande partie des parcelles du vignoble et cela dans le but d'y favoriser les pollinisateurs indigènes. On pratique aussi la fauche tardive susceptible de favoriser la diversité des plantes herbacées et les parcelles sont de plus en plus souvent conduites en viticulture « biologique » ce qui réduit la pression sur l'environnement. L'objectif de cette étude a été de mettre en évidence, si les pratiques viticoles et de gestion du bassin versant favorisent l'abondance des Osmies et des Mégachiles. Nous avons analysé les données de présence des insectes collectées de mars à juillet au moyen de nichoirs et par la réalisation de modèles linéaires généralisés mixtes de type log-Poisson. En ce qui concerne la gestion du vignoble, il ne semble pas y avoir d'effets liés au semis mellifère semé dans les inter-rangs, à la conduite viticole plus respectueuse de l'environnement ou à la pratique de la fauche tardive. Nous avons cependant montré un effet positif de la valeur pollinisatrice mais un effet négatif de la richesse spécifique du couvert végétal. La valeur pollinisatrice du couvert végétal, indicateur valable de bonne gestion du vignoble, favorise bien l'abondance des deux groupes d'insectes étudiés. L'effet négatif de la diversité du couvert végétal pourrait résulter d'une diminution de la proportion des espèces végétales de prédilection de ces deux groupes. En ce qui concerne le bassin versant, la distance par rapport aux lambeaux forestiers ne semble pas avoir d'effet. Par contre, nous avons mis en évidence des effets positifs de la distance à la ville et de la distance aux haies. L'effet positif de la distance à la ville pourrait s'expliquer par une pression environnementale trop forte et des ressources alimentaires allogènes non adaptées à ces espèces. En ce qui concerne les haies, cela pourrait s'expliquer par des espèces ligneuses non adaptées pour ces espèces.

Liste des abréviations

ADA : Association de Développement de l'Apiculture

AGISEM : AGriculture blodiversité Services Ecosystémique et évaluation Multicritère

AIC : Akaike Information Criterion (en français Critère d'Information d'Akaike)

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

IUCN : International Union for Conservation of Nature (en français UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature)

KS : Kolmogorov-Smirnov

LAE : Laboratoire Agronomie et Environnement

OAB : Observatoire Agricole de la Biodiversité

ONG : Organisation Non Gouvernementale

Table des matières

Introduction générale	1
Mon stage à l'INRAE	3
Aperçu bibliographique	7
Biodiversité et pollinisateurs	7
Etat global de la biodiversité	7
Etat des populations d'insectes et de pollinisateurs	50
Les abeilles sauvages	11
Généralités	11
Les enjeux de la perte des abeilles sauvages	13
Des causes de déclin multiples	15
Les changements climatiques	15
Espèces invasives et compétition	17
Destruction et fragmentation de l'habitat	19
L'agriculture	21
Les produits phytosanitaires	23
La viticulture	25
Généralités	27
L'enherbement une pratique bien développée en Alsace	27
La conservation, un des objectifs du "Projet Biodiversité"	29
Le projet Biodiversité	29
Les pratiques viticoles sur le bassin versant	31
Matériels & méthodes	33
Site d'étude	33
Evaluation de l'abondance des abeilles sauvages	35
Facteurs explicatifs	37
Enherbement des parcelles	37
Zones boisées et péri-urbaine	38
Pratiques viticoles	39
Données météorologiques	41
Analyse statistique	41
Résultats	45
Pratiques viticoles et enherbement	45
Pratiques de gestion du bassin versant	49
Discussion	53
Annexes	61
Bibliographie :	76

I. Introduction générale

Actuellement, la biodiversité décline à une vitesse alarmante. Sans compter les espèces déjà disparues, une espèce sur huit est en déclin (Parlement Européen, 2020a). Bien que les associations de sensibilisation comme la WWF mettent plutôt en avant des animaux bien connus du grand public comme les pandas ou les lynx, le danger d'extinction guette bien d'autres espèces. La biodiversité emblématique parle en effet plus au grand public, néanmoins leur seule protection ne peut pas permettre une conservation efficace de la biodiversité.

En effet, les écosystèmes sont des ensembles complexes composés d'un biotope et d'une biocénose où de nombreuses interactions permettent d'y maintenir un équilibre et un fonctionnement optimal. La biocénose est caractérisée par sa biodiversité spécifique, elle forme un tout dont les interactions sont régies par cette richesse spécifique. Dans cet écosystème, chaque organisme a un rôle, la perte d'un de ces organismes revient donc à perdre le service rendu par ce dernier ce qui peut aboutir à un déséquilibre dans l'écosystème.

Un exemple bien connu est l'équilibre prédateur-proie qui est souvent illustré par le lynx et le lièvre arctique. Dans ce cas-ci, la disparition du lynx entraîne une augmentation très importante des lièvres, ce qui a des répercussions sur l'écosystème et notamment par une sur-consommation des diverses plantes dont cette espèce se nourrit. Mais les écosystèmes présentent bien d'autres types d'équilibre, c'est le cas notamment pour les pollinisateurs qui jouent un rôle primordial dans les écosystèmes.

Une grande partie de ces pollinisateurs sont des insectes, classe qui est loin d'être épargnée par le déclin de la biodiversité. En effet, toutes les données de terrains récoltées sur les dernières vingtaines d'années attestent d'un recul général des populations d'insectes (Veyrieras, 2021). Il semblerait qu'une espèce d'abeille et de papillon sur 10 soient menacées en Europe (Parlement Européen, 2020b). Ce déclin est un phénomène complexe dont les causes sont multiples : la destruction des habitats et notamment des espaces naturels, la pollution (air, sol, insecticides, etc.), les changements climatiques ou encore l'introduction d'espèces allochtones (Veyrieras, 2021).

L'enjeu sociétal et la "simple" perte de biodiversité ne sont qu'une partie des conséquences de l'extinction des insectes pollinisateurs. Mais c'est la mise en péril du service de pollinisation et ses répercussions sur les écosystèmes qui semblent le plus inquiétantes. En effet, plus de 80% des espèces végétales sauvages mais également cultivées ont besoin de pollinisateurs pour se reproduire. Cela pourrait donc entraîner la perte d'espèces végétales sauvages par incapacité d'assurer leurs survie, mais également entraîner des pertes agricoles énormes (Commission Européenne, 2018; Mollier et al., 2009). En réalité, même les espèces cultivées pour lesquelles la pollinisation entomophile n'est pas obligatoire pourraient voir leurs rendements baisser en cas d'extinction des pollinisateurs (Veyrieras, 2021). En effet, la perte d'une partie de la biodiversité dans un écosystème se répercute également sur d'autres espèces. Dans un système agricole de nombreuses espèces dites "auxiliaires de cultures" permettent d'y limiter les organismes nuisibles. La perte d'espèces pollinisatrices pourrait donc entraîner un déséquilibre des agrosystèmes avec une perte des auxiliaires et par conséquent des impacts sur les cultures et leur rendement.

- Mon stage à l'INRAE

L'INRAE est un institut de recherche publique et un des premiers organismes au monde dans la recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Le centre Grand-Est situé à Colmar axe ses recherches sur la viticulture et l'évaluation environnementale par la modélisation. Depuis 2017, et la mise place d'un couvert semé, le vignoble du bassin versant de Ribeauvillé (68370 France) est étudié par l'équipe AGISEM (AGriculture biodiversité Services Ecosystémique et évaluation Multicritère) qui effectue notamment un suivi de l'implantation d'un mélange à haute valeur pollinisatrice qui y a été semé. Dans ce contexte, ce mémoire a pour objectif une évaluation de l'effet des actions mises en place sur le bassin versant sur la conservation des abeilles sauvages. Cette conservation sera évaluée via l'abondance des Osmies et des Mégachiles indigènes du bassin versant. Nous cherchons à savoir si le semis d'espèces mellifères, le contexte paysager boisés comme la forêt et les

haies, et une diminution de la pression liée aux pratiques viticoles favorisent l'abondance des Osmies et des Mégachiles. Quatre hypothèses sont envisagées :

- Hypothèse 1 : Le semis d'espèces mellifères attire plus d'abeilles sauvages car il fournit des ressources alimentaires indigènes plus diversifiées et sur une période plus longue comparé à un couvert spontané (ce dernier aboutit généralement à un tapis dense de graminées dû aux fauchages répétés).
- Hypothèse 2 : Les parcelles conduites en viticulture biologique, mais également les pratiques plus respectueuses de la faune et la flore comme la fauche tardive attirent plus les abeilles sauvages.
- Hypothèse 3 : Les zones boisées attirent plus d'abeilles sauvages car elles sont source d'une alimentation diversifiée et abondante notamment au printemps, présentent des matériaux utiles à la nidification de ces espèces et sont des refuges face à la pression environnementale induite par les pratiques viticoles.
- Hypothèse 4 : Bien que la ville présente une pression importante sur l'environnement, elle comporte également des surfaces vertes (jardins, parcs, ...) fournissant une ressource alimentaire diversifiée et unique sur le bassin versant.

Finalement, nous identifierons et quantifierons les facteurs expliquant une plus grande abondance d'Osmies et de Mégachiles au moyen de deux modèles généralisés mixtes de type log-Poisson dans le but de sélectionner d'une part les pratiques viticoles et d'autre part les actions de gestion du bassin versant à favoriser afin de conserver les abeilles sauvages.

I. Aperçu bibliographique

1. Biodiversité et pollinisateurs

a. Etat global de la biodiversité

L'histoire de la Terre et de sa biodiversité ont connu 5 extinctions de masse, conduisant à la disparition de nombreuses espèces en un laps de temps très court. La communauté scientifique est unanimement d'accord pour dire que la 6^e extinction de masse a actuellement lieu. Dans un rapport publié en mai 2019, la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) met en avant l'important déclin de la biodiversité qui est en cours. Sur les 2 millions d'espèces animales et végétales décrites aujourd'hui, la moitié est déclarée comme menacée d'extinction et près de 700 espèces ont déjà disparu (Graziano da Silva, 2019).

Contrairement aux 5 premières extinctions de masse, celle-ci a pour cause principale l'Homme. En 70 ans (depuis 1950) la population humaine présente une croissance effrénée et est passée de 2,6 milliards à 7,7 milliards d'individus. Sa croissance ne semble pas faiblir, on estime dépasser les 9 milliards d'ici 2050 (ONU, s. d.). Cette augmentation démographique est une cause de pression directe et indirecte sur la nature et la biodiversité.

Trouver les causes exactes de cette extinction de masse et évaluer l'état des différentes espèces sont devenues des priorités, et cela pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cela permet d'éveiller les consciences et de sensibiliser le monde. Cela permet également de fournir des informations claires sur lesquels les décideurs politiques peuvent s'appuyer pour mettre en place des mesures adaptées. Ces informations sont fournies par des organismes comme l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN).

L'IUCN est une organisation non gouvernementale (ONG) dont le but est la conservation de la nature. Cette organisation a fait un inventaire très complet de l'état de conservation des espèces dans le monde et fournit un guide pratique pour la

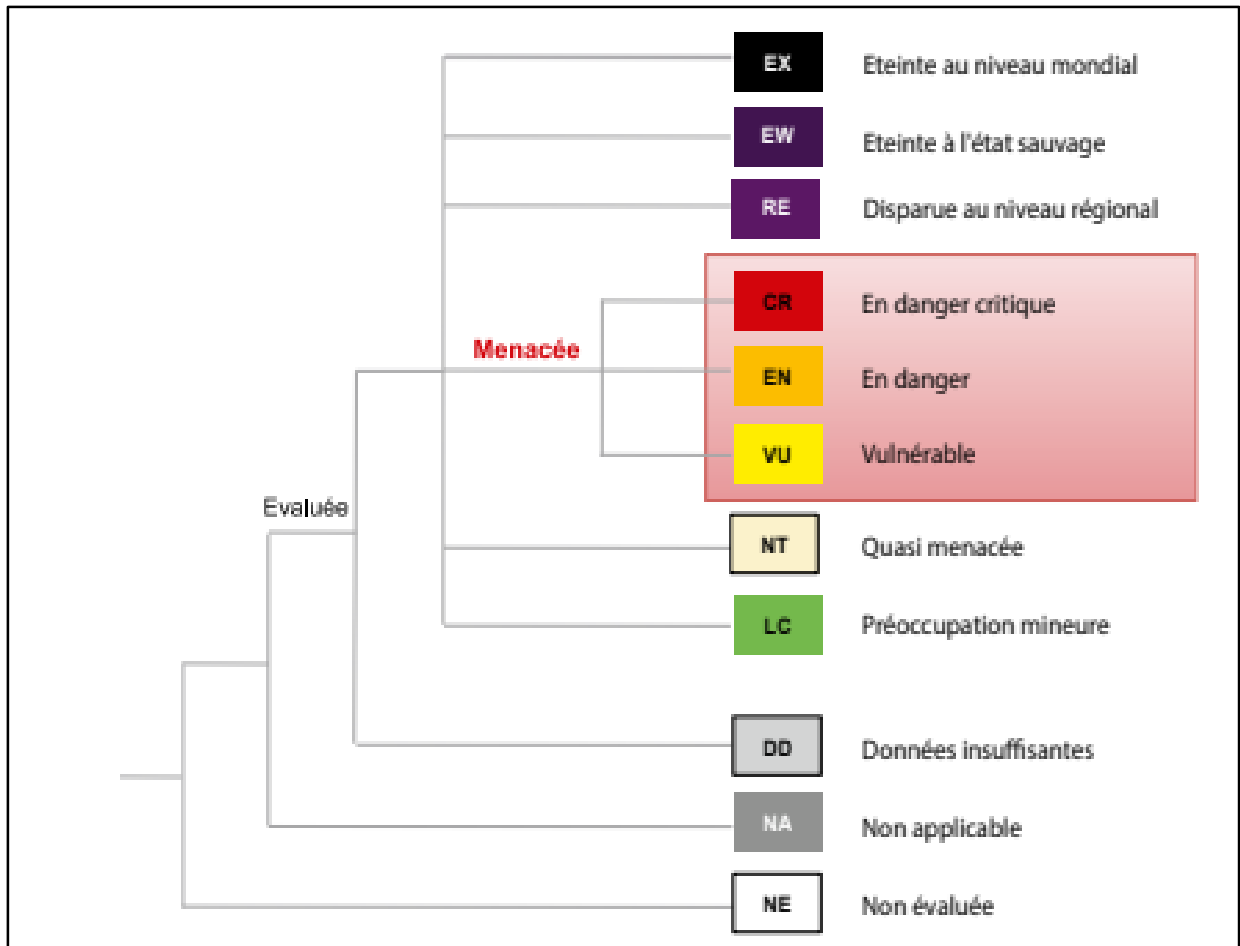


Figure 1 : Organigramme des 11 catégories de la liste de rouge régionale de l'IUCN (Source : Comité français de l'IUCN, 2018)

réalisation de listes rouges régionales d'espèces menacées. Son protocole d'évaluation de l'état des populations permet de déterminer l'état de menace que subit chaque espèce à différentes échelles géographiques. Après évaluation, les espèces sont classées dans une des 11 catégories créées par l'UICN (**Figure 1**).

Sur ces 11 catégories, 3 définissent les espèces comme menacées. Une espèce sera classée dans une de ces 3 classes si elle remplit au moins un des 5 critères de la liste rouge. Ces critères sont basés sur le déclin et la taille de la population, sur l'aire de répartition et sur des modèles de projections qui permettent d'estimer son risque d'extinction (Comité français de l'UICN, 2018).

Ces listes peuvent être réalisées de façon globale, sur l'ensemble de la biodiversité, ou de façon plus restreinte, en se focalisant sur un groupe en particulier. Elles sont régulièrement mises à jour et permettent de voir l'évolution de l'état des populations et par conséquent d'estimer l'efficacité des mesures déjà mis en place s'il y en a.

b. Etat des populations d'insectes et de pollinisateurs

La classe des insectes compte plus de 1 millions d'espèces recensées et 5,5 millions d'espèces potentielles. C'est dans cette classe que l'on retrouve la plus grande diversité de pollinisateurs. Les pollinisateurs sont des animaux, qui lors de leur activité de fourragement (consommation du pollen et/ou de nectar), permettent la fécondation des espèces végétales par dispersion du pollen. Il existe des milliers d'insectes pollinisateurs qui se retrouvent dans de nombreux ordres différents, les principaux étant les coléoptères, les lépidoptères, les diptères et les hyménoptères.

L'ordre des hyménoptères est sans doute, aux yeux du grand public, le plus connu pour réaliser la pollinisation. En effet, c'est l'ordre qui contient les abeilles et notamment l'abeille domestique, *Apis mellifera* qui est très largement répandue. Néanmoins cet ordre comprend bien d'autres espèces pollinisatrices comme les bourdons ou encore des centaines d'espèces d'abeilles sauvages (Les dorloteurs d'abeilles, s. d.).

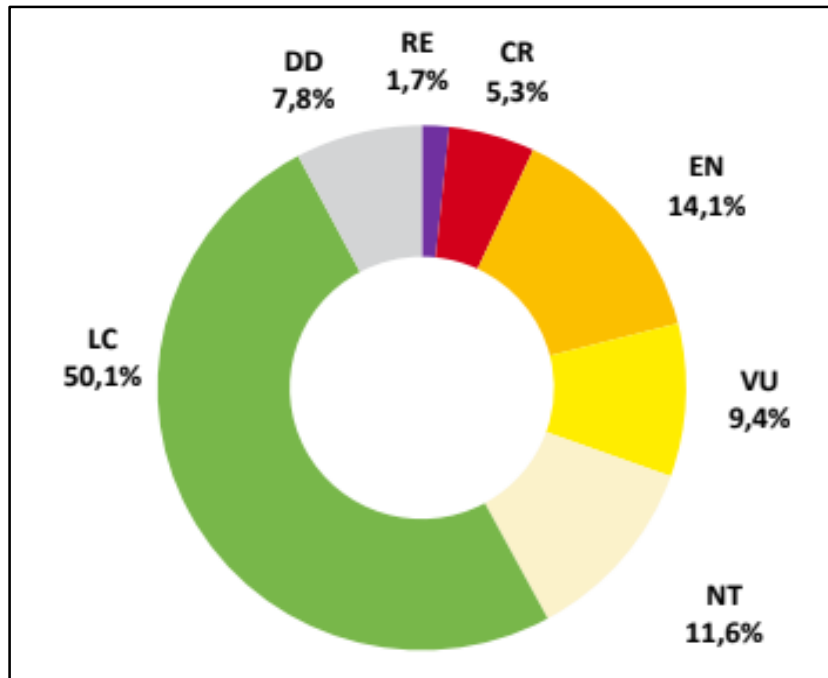


Figure 2 : Proportions des 361 espèces d'apidés d'Alsace évaluées par catégories UICN (Source : TREIBER, 2015)

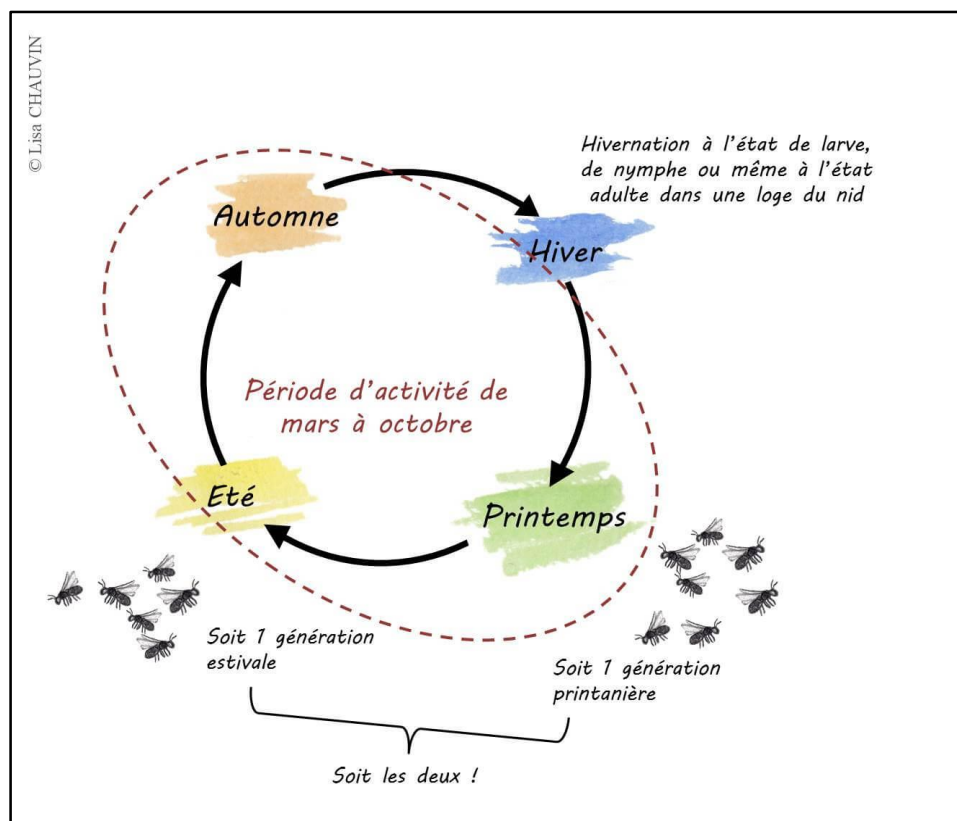


Figure 3 : Cycle de vie général des abeilles sauvages (Source : Chauvin, 2018)

Au sein de l'ordre des Hyménoptères, la famille des Apidés est la plus diversifiée. Bien que les données soient souvent rares sur ces espèces, le réseau Odonat (France, Grand Est) a réalisé une liste rouge des Apidés menacés en Alsace qu'elle met régulièrement à jour. C'est sur la base du protocole fourni par l'UICN, de la littérature et des observations que 361 espèces d'Apidées ont pu être évaluées en 2015. Le bilan général est assez lourd (**Figure 2**), avec 6 espèces déjà éteintes et près de 29% placées dans des catégories menacées. Ce bilan régional permet de se rendre compte de l'urgence dans laquelle se trouvent ces espèces.

2. Les abeilles sauvages

a. Généralités

Contrairement aux abeilles domestiques, les abeilles sauvages sont pour la plupart solitaires. Elles ne forment pas d'essaim ou de colonie et pondent leurs œufs dans des nids individuels, à l'exception des bourdons qui vivent en communautés. Les sites de nidifications des abeilles sauvages sont divers. Plus de 70% d'entre-elles nidifient dans des trous dans le sol, ce sont les abeilles terricoles. Les abeilles maçonnes quant à elles utilisent des cavités naturelles comme des tiges ligneuses creuses ou des coquilles d'escargots vides. D'autres espèces sont dites charpentières, c'est-à-dire qu'elles creusent leur nid dans le bois (Van Reeth, 2017). Malgré leur caractère solitaire, elles présentent néanmoins un comportement grégaire et il n'est pas rare de retrouver plusieurs nids au même endroit.

Chaque nid est constitué de plusieurs loges. Dans chacune d'elle, l'abeille dépose un œuf, ainsi qu'un stock de nourriture (généralement un mélange de pollen et de nectar). Chaque loge est séparée par une cloison et le tout est refermé par un opercule. La composition des cloisons et de l'opercule ainsi que le nombre de générations chaque année varient selon l'espèce (**Figure 3**). Chez l'Osmie rousse (*Osmia rufa*) il n'y a qu'une génération par an, la reproduction et la ponte s'effectuent au printemps, les larves se développent et se transforment en adulte à l'été, puis restent en diapause dans des cocons durant l'automne et l'hiver (Observatoire Agricole de la Biodiversité, 2013). Cette espèce est dite univoltine.

Tandis que pour l'espèce *Andrena flavipes* une seconde génération éclot en juillet, elle est dite bivoltine (Le Féon et al., 2016).

Une étude réalisée en 2013 a permis de montrer que les abeilles sauvages ont des préférences alimentaires distinctes par rapport aux bourdons ou encore aux abeilles domestiques. Les abeilles sauvages se nourrissent de façon plus fréquente et plus abondante de fleurs indigènes présentes dans les espaces semi-naturels. Ces espaces ont l'avantage d'offrir une plus grande diversité floristique ainsi que plus d'opportunités pour nidifier que les champs cultivés. Elles affirment aussi une préférence pour les espaces boisés au printemps et pour les prairies en été. Cette alternance saisonnière semble liée aux dates de floraison plus précoces des espèces boisées (Rollin et al., 2013).

b. Les enjeux de la perte des abeilles sauvages

La première conséquence du déclin des pollinisateurs est tout simplement la perte de biodiversité en tant que tel. L'extinction d'espèces d'abeilles sauvages conduit à l'augmentation de la longue liste d'espèces déjà disparues. Mais pas uniquement en y ajoutant leur propre nom, mais également celui des espèces végétales qui dépendent de ces abeilles pour se reproduire. En effet, les abeilles sauvages et domestiques contribuent à la pollinisation de près de 80% des espèces de plantes à fleurs sauvages (Commission Européenne, 2018; Mollier et al., 2009) dont certaines ne pouvant être pollinisées que par un nombre restreint d'espèces. La perte des abeilles spécifiques à leur pollinisation entraîne donc leur propre perte. Quatre-vingt-quatre pourcent des plantes cultivées sont également dépendantes d'une pollinisation entomophile, ce qui pourrait mettre en péril 5 à 8% de la production agricole mondiale et par conséquent la sécurité alimentaire mondiale (Commission Européenne, 2018). Enfin les abeilles, comme toutes les espèces, font partie de la chaîne trophique et sont donc une source de nourriture pour d'autres espèces. Bien qu'aucune espèce ne dépendant totalement des abeilles pour se nourrir, la disparition de ces dernières pourrait avoir une influence négative sur ses prédateurs. Il est donc important de connaître les causes de leur déclin afin de mettre en place des actions de conservation.

3. Des causes de déclin multiples

Les causes du déclin des populations d'abeilles sauvages sont nombreuses et souvent liées les unes aux autres. Certaines peuvent affecter directement les individus en les affaiblissant ou en les tuant. D'autres sont indirectes et affectent leurs sites de nidifications ou encore leurs ressources alimentaires.

a. Les changements climatiques

Le changement climatique qui semble le mieux établi est l'augmentation des températures. En 2016, le congrès "Changement climatique réflexions et actions agronomiques" a montré que cette augmentation des températures pourrait avoir des conséquences sur les pollinisateurs et le service de pollinisation. Cela pourrait entraîner un décalage phénologique dans l'émergence des pollinisateurs mais également dans la floraison de certaines espèces végétales (Chagnon, 2016), et ainsi impacter les interactions plantes-pollinisateurs. Selon les espèces pollinisatrices et végétales le décalage phénologique pourrait se faire dans le même sens et donc ne pas impacter la période de fourragement. Mais dans d'autres cas cela pourrait entraîner une diminution de la période potentielle de fourragement des pollinisateurs (Chagnon, 2016; Van Reeth, 2017). Sur cette base, trois scénarios sont alors possibles. Premièrement, les pollinisateurs s'adaptent en acquérant des adaptations physiologiques. Deuxièmement, ils migrent dans des espaces aux conditions climatiques plus appropriées. Troisièmement, ils s'éteignent (Chagnon, 2016).

Deux solutions de conservation sont proposées. La première est basée sur le maintien et la restauration de la connectivité entre habitats afin de permettre la dispersion naturelle de ces espèces. La seconde est basée sur des manipulations humaines afin de transloquer les espèces dans des lieux appropriés. Néanmoins, cette dernière solution nécessite une compréhension des écosystèmes et des caractéristiques biologiques des espèces très poussées (Chagnon, 2016).

b. Espèces invasives et compétition

La menace engendrée par des espèces invasives est un sujet qui est de plus en plus abordé dans un contexte de mondialisation. Il est possible aujourd'hui d'acheter dans n'importe quelle grande surface diverses plantes exotiques parfois accompagnées d'insectes, de parasites ou de champignons venant des lieux de culture. Tous ces organismes non autochtones sont également de potentielles espèces invasives pouvant avoir de graves conséquences sur les espèces locales.

Les espèces végétales invasives peuvent elles aussi impacter les abeilles sauvages. Une étude a montré que l'invasion de certaines variétés de *Solidago* avaient un impact négatif sur la diversité et le recouvrement de la flore locale et par conséquent sur la diversité des abeilles sauvages. Ce constat est en effet lié à une diminution d'abondance et de diversité des ressources alimentaires (Van Reeth, 2017).

D'autres parasites peuvent affecter directement les abeilles, c'est le cas du *Varroa destructor*. Ce petit acarien originaire d'Asie est arrivé en Europe il y a une quarantaine d'années. Dans son pays d'origine il dépendait d'*Apis cerana*, l'abeille asiatique pour effectuer son cycle de vie. Cette dernière est résistante au varroa contrairement à l'espèce européenne, *Apis mellifera*. Bien que les abeilles sauvages ne semblent pas affectées par ce parasite, le varroa est surtout un vecteur de nombreux pathogènes. Il a été démontré que différentes espèces de *Bombus*, *Andrena* ou encore *Xylocopa* ont été infectées par divers virus d'*Apis mellifera*, par dissémination des virus via le pollen des fleurs (Singh et al., 2010).

La question de la compétition entre *Apis mellifera* et les espèces sauvages est également discutée depuis des années. En 2013, Hudewenz & Klein montrent que les abeilles sauvages visitent moins de fleurs de *Calluna vulgaris* en présence de ruches. Il y aurait donc bien une pression de compétition induite par la présence de ruches. En parallèle, l'association de développement de l'apiculture (ADA) France montre une augmentation du nombre de ruches entre 1994 et 2019 (Associations de Développement de l'Apiculture, 2020). Néanmoins, d'autres études indiquent le

contraire. Steffan-Dewenter et Tschardt (2000) ont montré qu'il n'y a aucune dépendance entre la densité de ruches dans le paysage et l'abondance et la richesse spécifique des abeilles sauvages en prairie permanente.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce contraste dans les résultats. Tout d'abord, il est possible que la compétition entre ces espèces varie selon la localisation. Les espèces étant toutes autochtones en Europe, elles ont co-évolué ensemble. Ce qui poserait problème, ne serait pas la seule présence de l'abeille domestique mais plutôt une trop forte densité de celle-ci. La seconde hypothèse est liée à la ressource alimentaire. Dans un milieu où les ressources alimentaires font défaut, la mise en place de ruches à abeilles domestiques augmenterait le déficit en nourriture et entraînerait une diminution des abeilles sauvages. De plus, la compétition entre les espèces sauvages et l'espèce domestique pourrait varier selon le type de ressources disponibles. Une étude effectuée en 2013 par Oriane Rollin et al. a montré que les besoins et préférences alimentaires n'étaient pas les mêmes pour ces différentes espèces. L'abeille domestique semble avoir besoin de très grandes quantités de fleurs, la diversification ayant beaucoup moins d'importance pour elle que pour les abeilles sauvages. Son but étant de produire d'importantes réserves pour la colonie. C'est donc une espèce très bien adaptée aux grandes cultures comme les champs de Colza, tandis que les abeilles sauvages semblent avoir besoin d'une grande diversité de fleurs indigènes dans des quantités moindres car son but unique est de fournir assez de nourriture pour le bon développement de ses larves (Rollin et al., 2013). Il est donc aujourd'hui hasardeux de statuer sur la compétition entre *Apis mellifera* et les différentes abeilles domestiques. Il semblerait qu'il puisse exister une compétition selon les zones géographiques et les ressources disponibles.

c. Destruction et fragmentation de l'habitat

D'après le rapport "Environnement et agriculture" publié en 2018 par le Commissariat Général au Développement Durable, en France métropolitaine, l'agriculture représente 60% du territoire et les milieux semi-naturels 34%. Les principaux changements d'occupation des sols concernent les terres arables passant en territoire artificialisé et la perte des prairies permanentes, causée par une

diminution des élevages, et cela au profit des terres arables. On peut également noter une perte des espaces semi-naturels depuis le remembrement agricole. En effet, celui-ci a entraîné une diminution des espaces dédiés aux bords de champs mais également aux haies ou aux murs de pierres sèches (Kopit & Pitts-Singer, 2018). Tout ceci fait état d'une destruction et d'une fragmentation de l'habitat qui impactent inexorablement la faune et la flore qui y vit. Cela a pour conséquence une diminution des ressources alimentaires, notamment floristiques, une diminution de l'aire de répartition des espèces, et une diminution de la connexion entre les populations.

Une étude publiée en 2020 a montré que les espaces semi-naturels boisés comme les haies contribuent de façon non négligeable à la diversité des abeilles sauvages dans les paysages agricoles et que les lisières de forêt étant des écotones, présentant une richesse spécifique plus importante que les prairies permanentes (Rivers-Moore et al., 2020).

Une seconde étude a mis en avant la disponibilité dans les lisières forestières de substrats et de matériaux nécessaires à la construction des nids, mais également à la présence de litière, de buissons ou encore de cavités diverses permettant à ces pollinisateurs de s'abriter ou de trouver des sites d'hibernation. Ces lisières présentent une densité floristique importante et de ce fait des ressources alimentaires en quantité et notamment au début du printemps avec la floraison de certains arbres et arbustes appartenant par exemple aux genres *Malus*, *Prunus*, *Sambucus*, etc. (Bailey, 2014).

d. L'agriculture

Une des principales menaces qui pèsent sur les pollinisateurs à l'échelle mondiale est l'agriculture. Bien qu'elle existe depuis des milliers d'années, l'augmentation de la population l'a progressivement poussé à s'étendre, à s'intensifier et à utiliser des techniques exerçant une pression de plus en plus forte sur l'environnement. Dans les pays industrialisés, les systèmes agricoles majoritaires actuels sont basés sur une production végétale en monoculture sans couverture végétal au sol. Les bordures de champs subissent des traitements herbicides et autres produits phytosanitaires et perdent en diversité. Cette diminution de diversité floristique impacte indirectement les abeilles sauvages, leurs ressources alimentaires

étant plus rares et moins diversifiées. La plupart des études menées sur l'effet des pratiques agricoles sur les abeilles sauvages ont été effectuées en grandes cultures. Le labour par exemple est une technique qui consiste à travailler la couche superficielle du sol, le but étant d'enfouir ce qui est en surface et d'ameublir le sol pour le futur ensemencement. Cette technique a pour conséquence la destruction des sites de nidification des abeilles sauvages dites terricoles. Mais le labour élimine également le couvert végétal qui pousse spontanément au sol et qui peut être une source alimentaire pour ces abeilles. Bien que le labour soit une technique peu favorable à la biodiversité, elle a parfois l'avantage d'éviter l'épandage d'herbicides (Van Reeth, 2017). De plus, le passage d'engins lourds entraîne un tassement. Cela a pour conséquence de rendre le travail de nidification des abeilles terricoles plus difficile, entraîne l'obstruction de l'entrée et plus généralement la destruction des nids. L'irrigation quant à elle, peut provoquer la noyade des larves terricoles et les rendent plus vulnérables aux attaques fongiques (Van Reeth, 2017). Néanmoins, un sol irrigué présente une terre plus meuble, et est par conséquent, plus facile à travailler pour construire un nid (Kopit & Pitts-Singer, 2018).

e. Les produits phytosanitaires

De plus, l'agriculture moderne est une grande consommatrice de produits phytosanitaires, tels que les herbicides, les insecticides ou les fongicides. Tous ces produits sont répandus sur les terres agricoles, se déposent sur les cultures et le sol. Ils peuvent également atteindre les végétaux de bords de champs, les bosquets ou haies à proximité. Autant de lieux où les abeilles sauvages peuvent y être exposées. Andi Kopit et Pitts-Singer (2018) mettent en avant les différentes voies par lesquelles les abeilles peuvent être contaminées par ces produits. Les adultes y sont exposées via le pollen et le nectar qu'elles consomment ou récoltent pour leurs larves mais également via les différents matériaux de construction qu'elles utilisent pour réaliser leurs nids. Lors de leur développement, les larves peuvent les absorber en consommant le pollen et le nectar et en étant en contact avec des matériaux contaminés. Un pesticide présent à la surface d'une feuille par exemple, peut pénétrer directement la cuticule des abeilles par simple contact. Enfin, une mère contaminée par des pesticides verra ses œufs y être exposés par une transmission trans-

ovarienne, ce qui peut mettre en péril la santé de sa progéniture mais également le rendement de sa reproduction.

Certains de ces produits peuvent avoir des effets létaux mais également des effets qualifiés de sublétaux. Ils ne vont pas directement tuer les individus mais affecter leurs comportements comme l'apprentissage, l'alimentation ou encore l'orientation (Van Reeth, 2017). En ce qui concerne les herbicides ou encore les fongicides, peu de travaux ont été effectués. Les fongicides étaient considérés comme inoffensifs jusqu'à il y a peu de temps. Néanmoins, plusieurs études publiées récemment font état d'une diminution du nombre d'ouvriers et d'une reine plus légère chez *Bombus impatiens*. Une autre, montre une augmentation de la mortalité de 60% chez des individus de *Osmia lignaria* (Van Reeth, 2017). Les herbicides quant à eux, sont rarement étudiés seuls et sont souvent combinés à des insecticides dans les études. On ne connaît donc pas bien leurs effets propres. Mais l'utilisation de tels produits entraîne une perte de diversité floristique et donc une perte des ressources alimentaires utiles aux pollinisateurs. Les produits les plus étudiés restent les insecticides. Certaines études montrent qu'ils entraînent une diminution de l'abondance et de la diversité des abeilles à l'échelle des communautés (Van Reeth, 2017). Les néonicotinoïdes sont regroupés dans une classe d'insecticide qui a été tout particulièrement étudiée car ils présentent une action directe sur le système centrale des insectes (Simon-Delso et al., 2014). Ils causent une augmentation de la mortalité chez les abeilles domestiques par altération des capacités de repérage, conduisant à une colonie plus petite au printemps suivant. De plus, chez les espèces sauvages comme *Bombus terrestris* et *Osmia bicornis* la capacité à établir de nouvelles populations dans l'année suivant l'exposition diminue et plus généralement leur succès de reproduction est affecté (Woodcock et al., 2017).

Il est important de noter que les produits phytosanitaires présentent un grand nombre de molécules actives différentes qui ont des effets divers sur les abeilles en fonction également de leur sensibilité. Il existe d'ailleurs peu d'études faites sur les espèces sauvages (Van Reeth, 2017).

4. La viticulture

a. Généralités

Contrairement à d'autres cultures, la vigne est une plante pérenne et peut produire pendant plusieurs dizaines d'années. Selon son mode de conduite, elle nécessite un certain nombre d'interventions manuelles ou mécaniques et d'épandage de produits phytosanitaires. Le mildiou et l'oïdium sont traités de façon préventive soit à l'aide de fongicides de synthèse soit à l'aide de produits plus naturels comme le cuivre ou le soufre. C'est d'ailleurs la principale différence entre une viticulture conventionnelle et biologique (Trois fois vin, 2016). En conduite biologique, les viticulteurs ne peuvent pas utiliser de produits de synthèse sauf exception pour certains produits dont l'utilisation est réglementée. L'irrigation quant à elle, y est contrôlée voir même interdite et impacte donc peu les abeilles sauvages. Néanmoins, la vigne est une culture sensible à la compétition pour les nutriments et l'eau du sol. C'est pourquoi l'utilisation d'herbicides ou le labour sont largement utilisés sur l'inter-rang et le cavillon (bande de terre qui se trouve au niveau des pieds de vignes) afin de limiter cette compétition. Toutefois, la mise en place et la gestion d'un enherbement sur l'inter-rang est une pratique qui se développe de plus en plus en France.

b. L'enherbement une pratique bien développée en Alsace

En 2016, un peu plus de la moitié des vignobles Français et 99% des vignobles alsaciens avaient un enherbement sur les inters-rangs (Simonovici, 2020). Cet essor pour la gestion d'un enherbement est lié aux avantages écologiques et agronomiques qu'il peut fournir tels qu'une diminution de l'érosion du sol et des pertes en produits phytosanitaires, une amélioration de la structure et de l'activité biologique du sol ou encore une augmentation de la biodiversité (Delabays et al., 2016). Le meilleur moyen pour obtenir un enherbement ayant des avantages écologiques et agronomiques convenables mais dont les potentiels désavantages (compétition) sont limités, est de choisir les plantes qui le composent (Delabays et al., 2016). On distingue donc les enherbements spontanés des enherbements contrôlés (semés). En Europe on distingue 3 principaux types d'enherbement semé ayant des objectifs différents.

L'enherbement de "couvert hivernal" sera mis en place dans les parcelles afin de limiter l'érosion qui a lieu particulièrement pendant les saisons froides. L'enherbement "engrais vert" sera mis en place sur la parcelle, puis détruit afin qu'il fasse office d'amendement naturel. Et enfin l'enherbement de "culture intermédiaire" qui a pour objectif de capter les nitrates en excès dans le sol afin de limiter la contamination des eaux (Noceto et al., 2020). Cette liste n'est toutefois pas exhaustive car les enherbements peuvent avoir d'autres objectifs. Le tout étant de composer avec les spécificités de la parcelle, de la conduite, de la topographie, du climat, etc. et de choisir des espèces adaptées. Dans ce sens, le semis qui a été implanté sur le vignoble du bassin versant de Ribeauvillé en Alsace (France) est un bon exemple.

5. La conservation, un des objectifs du "Projet Biodiversité"

a. Le projet Biodiversité

Le "Projet biodiversité remarquable à Ribeauvillé" est une démarche collective locale initiée par la commune, le syndicat viticole de Ribeauvillé, la chambre d'agriculture d'Alsace, l'Institut Nationale de Recherche pour l'Agronomie, l'alimentation et l'Environnement (INRAE) et qui a été mis en place sur le vignoble du bassin versant de Ribeauvillé (Alsace, France) pour favoriser la biodiversité sur l'ensemble du banc viticole. La première action a été la mise en place, à l'arrêt d'utilisation des insecticides, d'une lutte par confusion sexuelle pour pallier aux espèces de vers de la grappe. Les enjeux du projet sont alors de valoriser le patrimoine viticole et de favoriser la biodiversité floristique et faunistique en utilisant notamment des pratiques viticoles plus respectueuses de l'environnement. Pour cela, de nouvelles actions sont mises en place sur le bassin versant comme l'installation de nichoirs à oiseaux, de potences à rapaces ou encore la plantation de haies. Ce projet est financé par la région Grand Est et l'Agence de l'eau dans les programmes trame verte et trame bleue (TVTBT).

b. Les pratiques viticoles sur le bassin versant

Les différentes actions déjà en place sur le bassin versant afin de diminuer la pression des pratiques viticoles sur l'environnement ont évolué avec la mise en place du projet biodiversité. Un nombre croissant de viticulteurs ont choisi de passer à des conduites biologiques, à tel point qu'aujourd'hui cette conduite est majoritaire sur le bassin versant. De plus, depuis 2017 une partie des inters-rangs viticole du bassin versant a étéensemencée avec un mélange de plantes locales produit par le semencier Nungesser. Ce couvert a été adapté aux conditions pédo-climatiques du bassin versant. L'INRAE a collaboré au projet afin de sélectionner des plantes permettant d'avoir un semis à haute valeur pollinisatrice pour favoriser les ressources alimentaires nécessaires aux bons développements des différentes espèces d'abeilles. La durée de floraison des différentes plantes a aussi été appréciée pour couvrir une demande alimentaire plus longue en fin de période estivale. Nous avons estimé 115 ruches sédentaires dans le bassin versant.

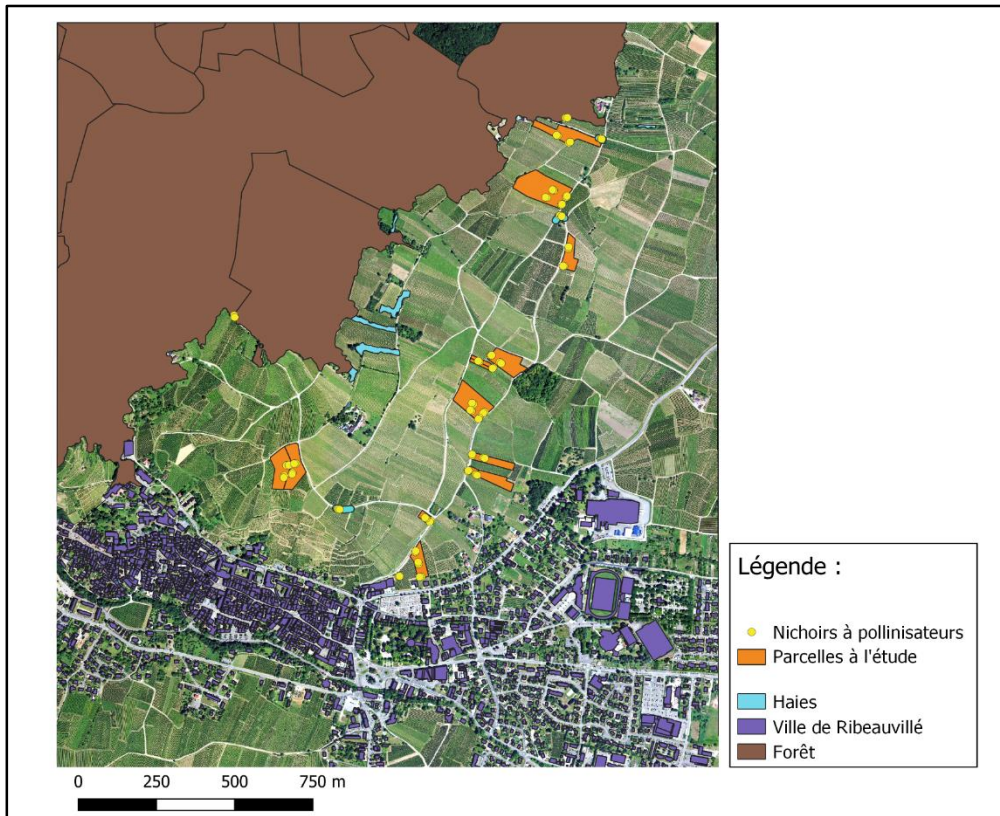
II. Matériels & méthodes

1. Site d'étude

Notre étude est située dans le bassin versant de la commune de Ribeauvillé (68150, Haut-Rhin, France). Ce bassin versant est composé d'un vignoble de plus de 330 ha bordé en amont par la forêt et en aval par la ville de Ribeauvillé. Depuis 2017 un certain nombre de parcelles de vignes sont étudiées par l'équipe AGISEM du centre INRAE de Colmar. Le but est de mettre en évidence l'évolution de l'implantation des couverts végétaux locaux dans les inter-rangs viticoles, mais également d'évaluer les différents services rendus par ces couverts, notamment au niveau de l'érosion du sol, de la compétition avec la vigne ou encore de la pollinisation.

Notre travail porte sur un échantillon de 14 parcelles qui présentent toutes un enherbement permanent un rang sur deux, ce qui signifie qu'un rang sur deux est enherbé et que le second est dans la plupart des cas travaillé mécaniquement. Treize parcelles sont conduites en viticulture biologique, néanmoins une grande partie a été convertie très récemment. La conduite biologique se distingue de la conduite conventionnelle par l'absence d'utilisation de produits de synthèse comme les herbicides chimiques. Les parcelles étudiées présentent une grande diversité dans la date de plantation, les cépages et la texture de leur sol (Annexe 1). Sept de nos parcelles présentent un couvert végétal spontané et les 7 autres ont été semées en 2017 avec un mélange spécifique.

Le semis spécifique a été proposé par la société « Nugesser Semences », sa composition a été validée par le syndicat viticole en partenariat avec l'équipe AGISEM pour intégrer les connaissances sur la pollinisation. Il est composé de plantes indigènes avec un ratio 30% de Poacées et de 70% d'autres plantes à fleurs (Annexe 2). Ce mélange a été élaboré pour pallier au déficit alimentaire des pollinisateurs en fin d'été en leur fournissant des espèces vivaces ayant des dates de floraison étendues et des valeurs pollinisatrices hautes (Annexe 2 et 3). Ces dernières ont été calculées par l'INRAE sur base de 3 arbres de décision. Les arbres de décision sont construits pour répondre aux informations les unes après les autres, de l'arbre 1 à



Carte 1 : Localisation des nichoirs et des différents éléments structurant sur le bassin versant de Ribeauvillé (M. Batôt, 2021)

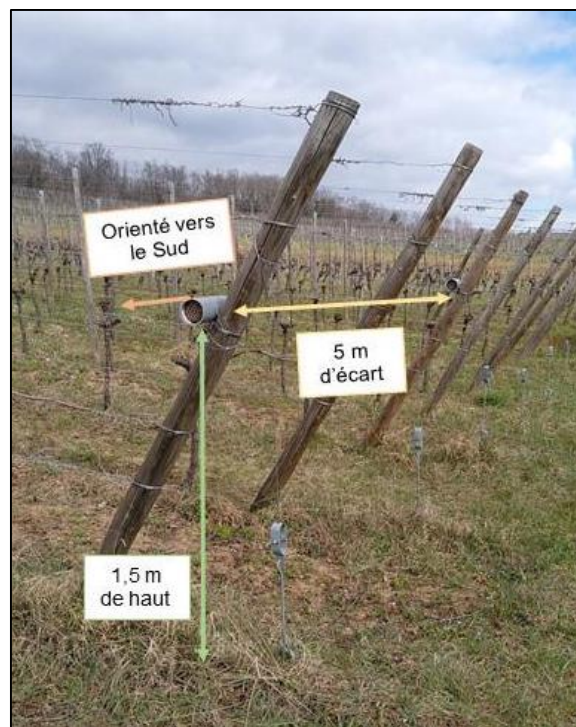


Photo 1 : Positionnement des nichoirs dans le vignoble (M. Batôt, 23/03/2021)

l'arbre 3, l'arbre 1 appelé attraction visuelle permet d'appréhender la couleur des fleurs et le reflet UV. Le deuxième est l'accessibilité à la fleur, il permet de connaître la symétrie et la taille de la fleur. Et enfin le troisième arbre, mesure la récompense sur la base de la quantité et de la qualité du pollen et du nectar. La valeur pollinisatrice sera alors comprise entre 0 (valeur faible) et 10 (valeur haute) (Annexe 3).

2. Evaluation de l'abondance des abeilles sauvages

La méthode de comptage des abeilles solitaires a été focalisée sur des espèces maçonnes connues pour être présentes sur le site d'étude, les Osmies et les Mégachiles. Notre protocole s'est basé sur le protocole "Nichoirs à abeilles sauvages" mis au point par l'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB) pour son projet de science collaborative (Observatoire Agricole de la Biodiversité, 2016).

Celui-ci consiste à placer des nichoirs à abeilles sauvages en paires à différents endroits du site d'étude. Un nichoir est constitué de 32 tubes en carton ouverts à une seule extrémité, faisant 10 cm de long et 1 cm de diamètre. Le tout a été glissé dans un tube en pvc de 20 cm de long et de 7,5 cm de diamètre. Le fagot a été calé avec du papier journal afin qu'il soit stable.

Sur chacune des 14 parcelles viticoles, nous avons disposé deux paires de nichoirs, le premier à l'abord de la parcelle et le second en son milieu. De plus, deux paires ont également été placées aux abords de la forêt et de la ville, ainsi que 3 paires dans des haies du bassin versant (Carte 1).

Les nichoirs de chaque paire ont été placés à 5 m de distance l'un de l'autre, bien à l'horizontal afin d'éviter l'entrée de l'eau de pluie, l'ouverture dirigée vers le sud. Le protocole OAB préconise de les placer à 1 m du sol, ici, ils ont été placés plutôt vers 1m50, ce qui correspond au 2^e fil de palissage des vignes (Photo 1). Les nichoirs ont été disposés dans le vignoble à la mi-mars, puis des relevés ont été faits toutes les deux semaines jusqu'à mi-juillet. A chaque passage, les nichoirs présentant des tubes

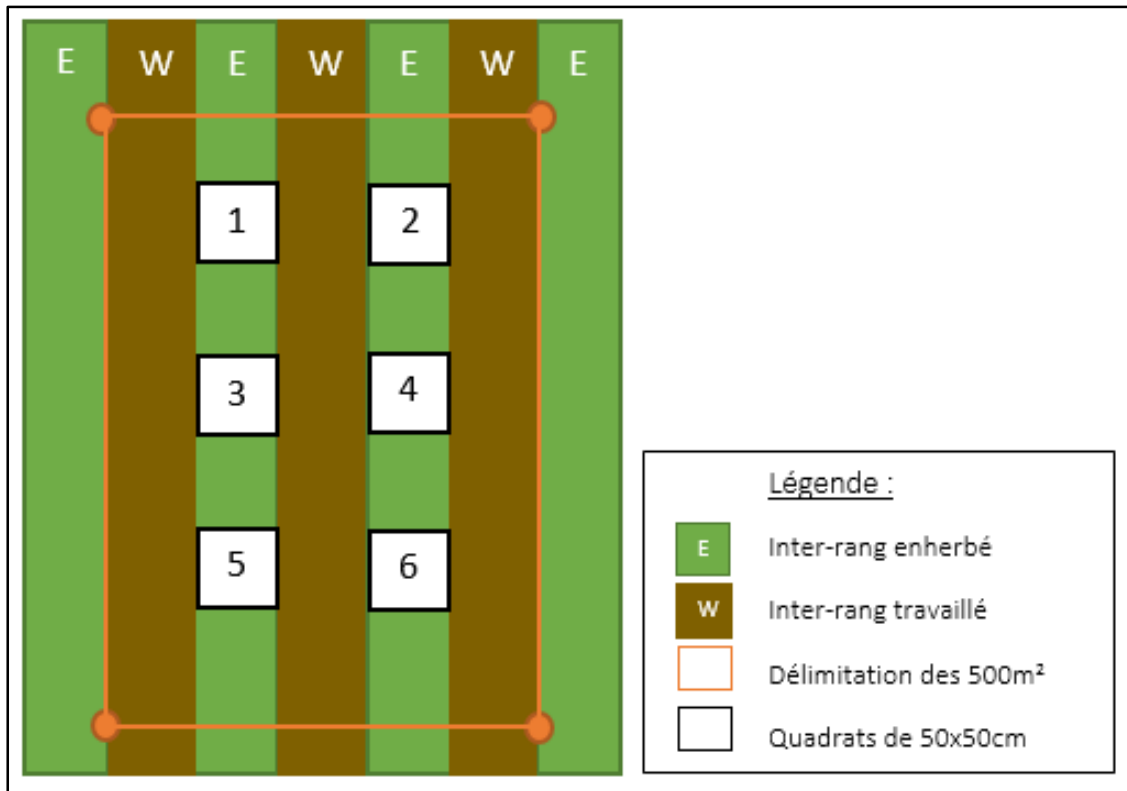


Figure 4 : Disposition des relevés floristiques dans les parcelles

operculés totalement ou partiellement ont été pris en photo, leur nombre ainsi que les matériaux constituant ces opercules ont été notés. Le nombre d'opercule constitue notre mesure de l'abondance en Osmies et Mégachiles, tandis que le nombre de types d'opercule nous permet d'estimer leur diversité.

3. Facteurs explicatifs

- Enherbement des parcelles

L'enherbement des parcelles a été évalué sur base de différents critères. Tout d'abord, la richesse spécifique a été évaluée au mois de mai par le biais d'un relevé de présence-absence sur l'inter-rang enherbé. Cette richesse a été évaluée sur une surface de 500 m², ce qui correspond à la surface minimale permettant d'estimer cette richesse (courbe air/espèce). De plus, le potentiel mellifère du couvert a été calculé sur base de 3 relevés floristiques effectués fin mars, mi-mai et début juillet. Pour chaque relevé, 6 quadrats de 50cm² ont été placés sur l'inter-rang enherbé au sein de la surface de 500m² (Figure 4). Dans chaque quadrat, les relevés floristiques ont été effectués en estimant le recouvrement spécifique (projection verticale des organes aériens sur la surface du sol). Trois quadrats ont été analysés à l'œil nu sur le terrain le jour du relevé, les 3 autres ont été pris en photo et analysés ultérieurement. L'évaluation du potentiel mellifère des parcelles a été calculée pour chaque relevé, le calcul c'est basé uniquement sur les espèces en fleur à la période de relevé (bases de données Telabotanica et e-FloraSys). Pour cela, la moyenne du recouvrement de chaque espèce sur les 6 quadras a été calculée, puis multipliée par sa valeur pollinisatrice (fournie par le calculateur Ipol/INRAE Annexe 4). Ces valeurs ont été sommées, fournissant ainsi la valeur pollinisatrice prédictive de la parcelle pour chaque relevé.

- Zones boisées et péri-urbaine

Les caractéristiques de la forêt et des haies dans lesquelles nous avons installé des nichoirs ont été évaluées sur base de la richesse spécifique en espèces ligneuses. Pour cela, les espèces arborées, arbustives ainsi que les lianes ont été

relevées au mois de juin, sur un itinéraire linéaire de 15 m, soit 5 m avant et 5 m après la paire de nichoirs. Les haies abritant les nichoirs ont été sélectionnées d'après la définition suivante : "Une haie est une unité linéaire de végétation ligneuse continue faisant maximum 10 m de largeur et présentant des discontinuités inférieures à 5 m". Celles-ci ont également été caractérisées sur la base de leur longueur et de leur épaisseur.

Un traitement au moyen du logiciel QGIS a été réalisé afin d'évaluer les limites de la zone forestière, de la ville et des haies du bassin versant, afin de calculer la distance minimale entre chaque nichoir et chacun des éléments structurant le paysage.

- Pratiques viticoles

Les données relatives aux itinéraires techniques 2020 et 2021 ont été récoltées auprès de chaque viticulteur à l'aide d'un formulaire (Annexe 5). Celui-ci a permis de récolter des informations sur la conduite de chaque parcelle, c'est-à-dire, les produits phytosanitaires utilisés, le type d'entretien des inter-rangs, les apports au sol de fertilisants et l'application ou non de la fauche tardive. Cela a permis de classer les parcelles selon 4 conduites. Les parcelles sur lesquelles des produits de synthèse comme des herbicides chimiques ont été épandus sont classées dans la catégorie conventionnelle. Les parcelles en conversion (3 ans de conversion entre conventionnelle et biologique) vers une viticulture biologique sont classées comme en conversion. Tandis que les parcelles conduites depuis plus de 3 ans en viticulture biologique sont classées en deux catégories. La première regroupe ceux pratiquant une viticulture biologique classique et un second groupe avec ceux utilisant en plus des préparations à base de plantes comme des tisanes d'orties, de prêle ou encore des écorces d'oranges (techniques proches de la biodynamie).

La répartition de nos 14 parcelles dans ces différentes conduites viticoles ainsi que la pratique ou non de la fauche tardive en 2020 et 2021 est disponible en Annexe 6.

	<u>Modèle sur les pratiques viticoles :</u>	<u>Modèle les pratiques de gestion du bassin versant :</u>
Type :	GLMM de type log-Poisson	
Variable dépendante :	Nombre de tubes partiellements ou totalement operculés	
Variables aléatoires :	L'identité et les paires de nichoirs	
Variables explicatives :	La température moyenne de la quinzaine précédant le relevé	
	Conduite de la parcelle en 2020	Richesse spécifique en espèces ligneuses
	Conduite de la parcelle en 2021	Distance minimale à la forêt
	Fauche tardive en 2020	Distance minimale à la ville
	Fauche tardive en 2021	Distance minimale à une haie
	Le type d'enherbement (semé ou spontané)	
	La position du nichoir dans la parcelle (centre ou bord)	
	Richesse spécifique du couvert de chaque parcelle	
	Potentiel mellifère du couvert de la parcelle	

Tableau 1 : Récapitulatif des paramètres des deux modèles

- Données météorologiques

L'influence de la température sur l'activité des insectes est bien connue. C'est pourquoi nous avons choisi d'ajouter cette variable comme cofacteur. Les données de température utilisées sont celles de la station de la commune de Bergheim (68750, Alsace, France). Et ont été prises sur l'outil "Climatik" de l'INRAE, qui met à disposition des données agroclimatiques. Sur base de ces données nous avons calculé la moyenne de température sur les 15 jours précédant chaque relevé.

4. Analyse statistique

Afin de mettre en évidence l'effet de chacune des variables explicatives évaluées sur les abeilles sauvages, nous avons utilisé des modèles généralisés mixtes de type log-Poisson au moyen du logiciel R. Seules les observations d'abondance ont été analysées, les observations réalisées sur leur diversité n'ayant pas été suffisamment concluantes. Nous avons analysé séparément les observations relatives aux pratiques viticoles dans le vignoble des observations dans les haies et la forêt en raison des différences entre la nature des variables explicatives. Les effets aléatoires sont l'identité du nichoir (afin de prendre en compte la répétition de la mesure) imbriquée dans les paires (afin de prendre en compte la proximité entre les nichoirs d'un même binôme). Les variables explicatives du modèle sur les pratiques viticoles sont : la température moyenne de la quinzaine précédant le relevé, le type de conduite en 2020 et 2021, l'application de la fauche tardive en 2020 et 2021, le type d'enherbement (semé ou spontané), la position du nichoir dans la parcelle (au centre ou au bord), la richesse spécifique et la valeur pollinisatrice du couvert des parcelles. Tandis que pour le modèle sur les pratiques de gestion du bassin versant, les variables explicatives sont : la température moyenne de la quinzaine précédant le relevé la richesse en espèces ligneuses (lianes, arbustes et arbres), la distance minimale à la forêt, à la ville et à une haie (Tableau 1). Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction *glmer* du package « lme4 » (Bates et al., 2014) combinée à la fonction *glmulti* du package « glmulti » (Calcagno & de Mazancourt, 2010). La fonction *glmulti* permet de comparer automatiquement la qualité des modèles issus de différentes combinaisons de

variables explicatives. Nous avons limité le nombre d'effets (variables explicatives) à 5 et utilisé le critère d'information d'Akaike (AIC) comme indicateur de qualité. Les modèles obtenus ont été évalué au moyen du test du ratio de vraisemblance pour la significativité conjointe des coefficients des effets sélectionnés (fonction *anova* de « lme4 ») et de l'analyse de la distribution des résidus (fonction *simulationOutput* du package « DHARMA » ; (Hartig, 2021)). Enfin, les coefficients de déterminations des modèles ont été calculés afin de voir la part de variance expliquée par nos variables (fonction *r.squaredGLMM* du package MuMIn).

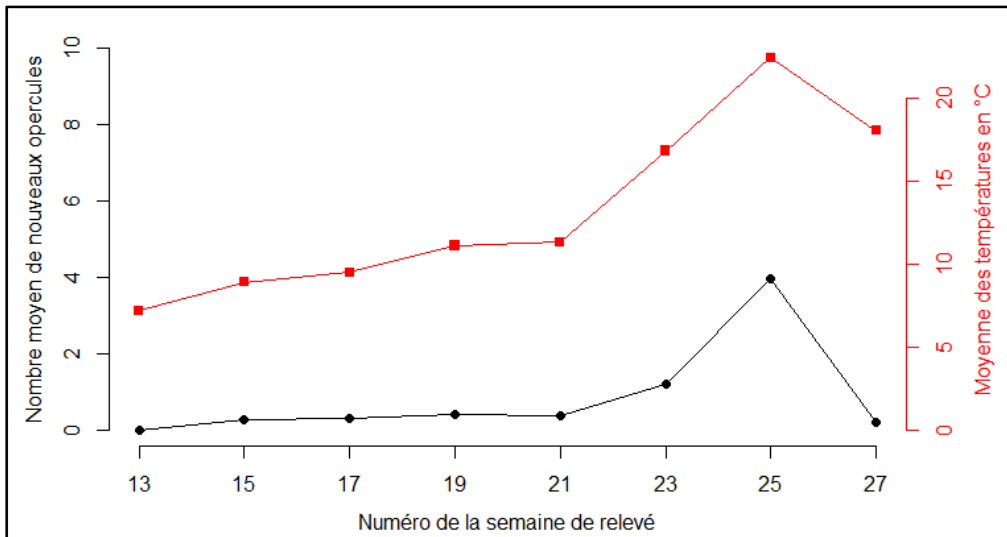


Figure 5 : Moyenne des températures moyennes sur la quinzaine précédant le relevé superposée au nombre moyen de nouveaux opercules par nichoir en fonction de la semaine de relevé.

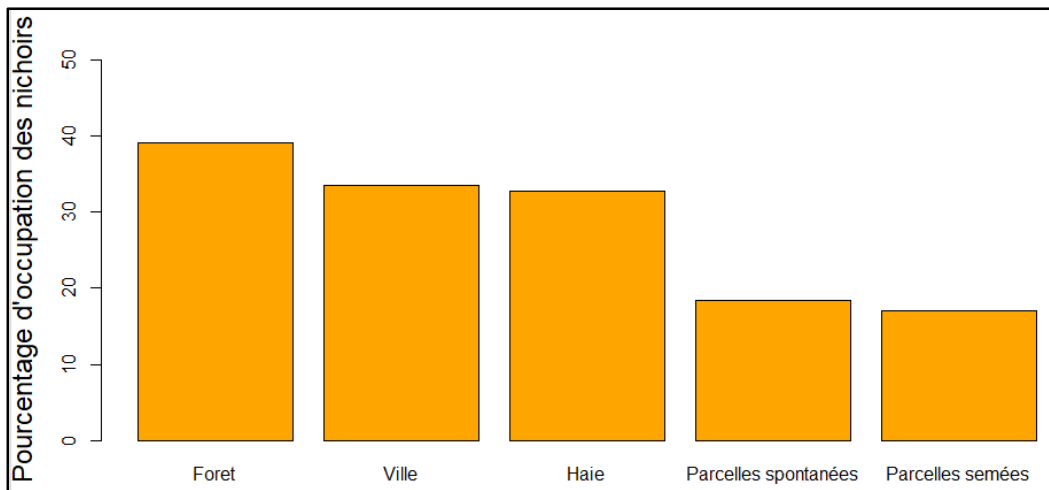


Figure 6 : Pourcentage d'occupation des nichoirs au dernier relevé dans les différentes modalités.

III. Résultats

Un premier examen de nos observations nous montre une variation du nombre d'opercules moyen selon la semaine de relevé. Tous les relevés, sauf deux (semaine 23 et 25), présentent des recensements moyens d'opercules assez faibles, avec moins de 1 opercule relevé en moyenne. Nous constatons une légère augmentation du nombre entre la semaine 13 (29 mars au 4 avril) et 19 (10 au 16 mai), puis une stabilisation jusqu'à la semaine du 21 (24 au 30 mai), suivie d'un pic pour les semaines 23 (7 au 13 juin) et 25 (21 au 27 juin) avec respectivement 1.2 et 4 opercules recensés en moyenne et enfin une diminution brutale pour la dernière semaine de relevé (5 au 11 juillet) avec à nouveau moins de 1 opercule par nichoir (Figure 5). De plus, il est intéressant de remarquer une tendance similaire entre le nombre d'opercules moyen par nichoir et la température moyenne. Comme attendu, la température pourrait bien être un facteur explicatif de l'abondance d'Osmies et Mégachiles sur le bassin versant (Figure 5).

Par ailleurs, le pourcentage d'occupation des nichoirs (nombre de tubes operculés au dernier relevé / nombre d'opercules totaux disponibles pour la modalité) au dernier relevé dans les différentes modalités n'a pas dépassé 39%. Le nombre de tubes disponibles ne doit donc pas avoir été un facteur limitant leur utilisation. Les modalités les moins occupées sont les parcelles semées et spontanées avec respectivement 16.9 et 18.3 %, suivie des modalités "Haie", "Ville" et "Forêt" avec respectivement 32.8, 33.5 et 39% d'occupation (Figure 6).

1. Pratiques viticoles et enherbement

Parmi les 400 modèles évalués afin de déterminer les variables spécifiques à l'enherbement et aux pratiques viticoles qui expliquent la variation du nombre d'opercules recensés dans les nichoirs, nous avons identifié le modèle le plus parcimonieux (Tableau 2). Celui-ci inclut la position du nichoir dans la parcelle (PositionP), la richesse spécifique en espèces fleuries (hors Poaceae; RS.pol), la

Nombre d'observations :		438		
Nombre de group :		58		
EFFETS ALEATOIRES :				
Variance				
Nom:Paire		2.126		
Paire		1.177		
EFFETS FIXES :				
	Coefficients	Ecart-types	Z-test	P-valeur
Intercept	-3.26697	1.32580	-2.464	0,0137 *
PositionPcentre	-1.39114	0.65157	-2.135	0,0328 *
RS.pol	-0.11552	0.05275	-2.190	0,0285 *
Val.poll	0.27483	0.07036	1.977	0,0480 *
TM	0.27408	0.01515	18.085	<2e-16 ***
Test du ratio de vraisemblance :				
	Deviance	Chi²	Degré de liberté	p-valeur
	766.82	525.8	4	< 2.2e-16 ***

Tableau 2 : Modèle linéaire généralisé mixte (log-Poisson) le plus parcimonieux du nombre d'opercules, sélectionné sur base de l'AIC (Nom = nom des nichoirs, Paire = binôme de nichoirs, PositionPcentre = position du nichoir au centre de la parcelle, RS.pol = richesse spécifique du couvert végétal hors Poaceae, Val.poll = valeur pollinisatrice du couvert végétale, TM = température moyenne de la 15ème écoulé) et son test du ratio de vraisemblance.

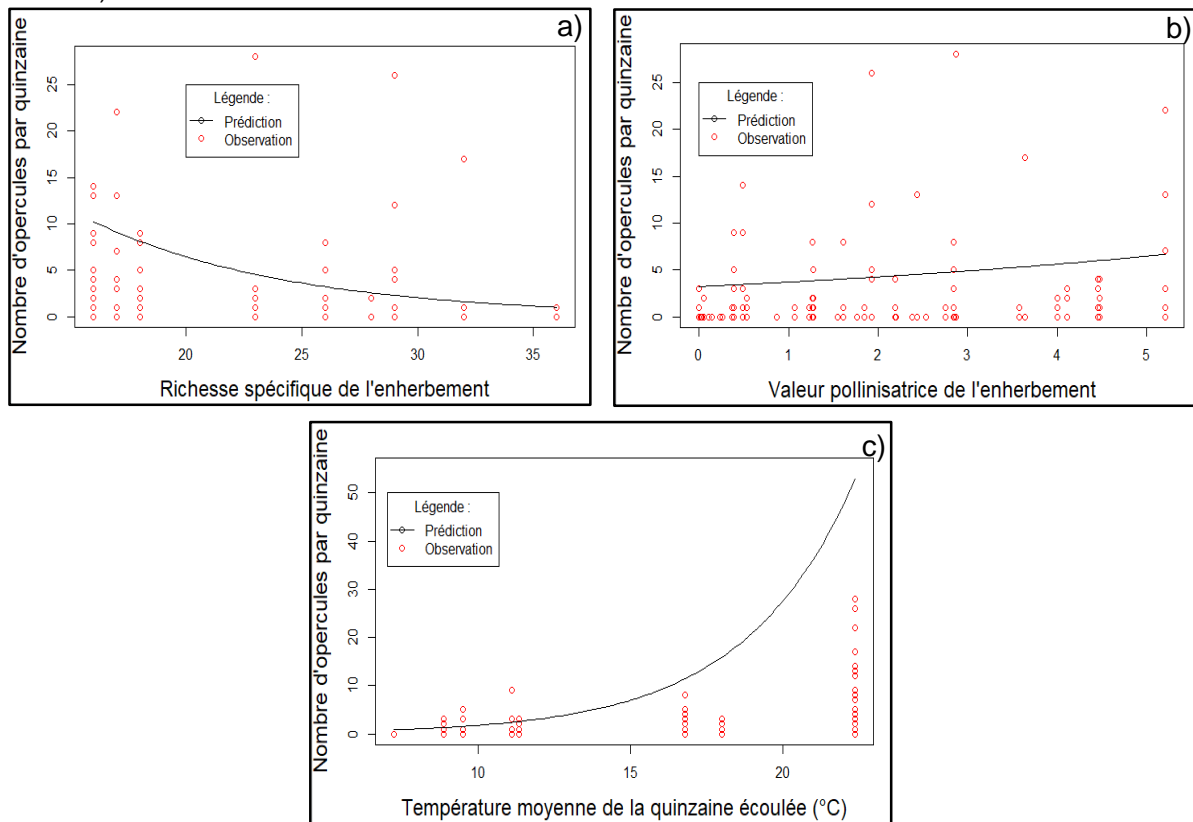


Figure 7 : Observations du nombre moyen d'opercules par quinzaine en fonction (a) de la richesse spécifique de l'enherbement, (b) de la valeur pollinisatrice de l'enherbement et (c) de la température moyenne de la quinzaine écoulée et prédiction du modèle calculé sur base des effets fixes d'un nichoir particulièrement utilisé (Tableau 2, autres variables explicatives fixées à leur valeur moyenne).

valeur pollinisatrice du couvert végétale (Val.poll) ainsi que la température moyenne des 15 jours précédant le relevé (TM).

Ce modèle étant de type log-poisson, l'effet unitaire de chaque variable du modèle peut être calculé via l'exponentiel de son coefficient (Tableau 2). Ainsi nous estimons qu'un nichoir en bord de parcelle aura 0.2 fois plus d'opercules de plus qu'un nichoir en centre de parcelle. De même, une augmentation de 1 pour la richesse spécifique entraîne une multiplication du nombre d'opercules par 0.9, tandis qu'une augmentation de 1 degré ou l'augmentation de 1 de la valeur pollinisatrice de l'enherbement entraîne une multiplication du nombre d'opercule par 1.3.

La richesse spécifique de l'enherbement et le positionnement au centre des parcelles ont un effet négatif sur le nombre d'opercules tandis que la valeur pollinisatrice du couvert végétale et la température moyenne de la quinzaine écoulée ont un effet positif (Tableau 2, Figure 7).

La comparaison de la variable dépendante aux prédictions du modèle montre que ce dernier prédit bien les faibles valeurs mais bien moins les valeurs élevées. Cela peut être en lien avec un nombre moins important d'observations de grandes valeurs (Figure 8).

Le modèle sélectionné ne renvoie que des effets significatifs (p -valeur des coefficients <0.05) et le test de significativité de l'ensemble des coefficients (test du ratio de vraisemblance) est aussi concluant (Tableau 2). Cependant, les tests de distribution des résidus (Figure 9) ne sont que partiellement satisfaisants. Les tests sur les résidus montrent des p -valeurs significatives pour les observations du milieu de la distribution et surtout de la partie haute de la distribution comme le laisse aussi percevoir la comparaison des valeurs observées aux valeurs prédites (Figure 8). Cela signifie que les résidus ne présentent pas de valeurs extrêmes, ni de sous-dispersion ou de sur-dispersion mais il est probable qu'il manque à notre modèle une ou plusieurs variables explicatives importantes pour prédire précisément la variable dépendante.

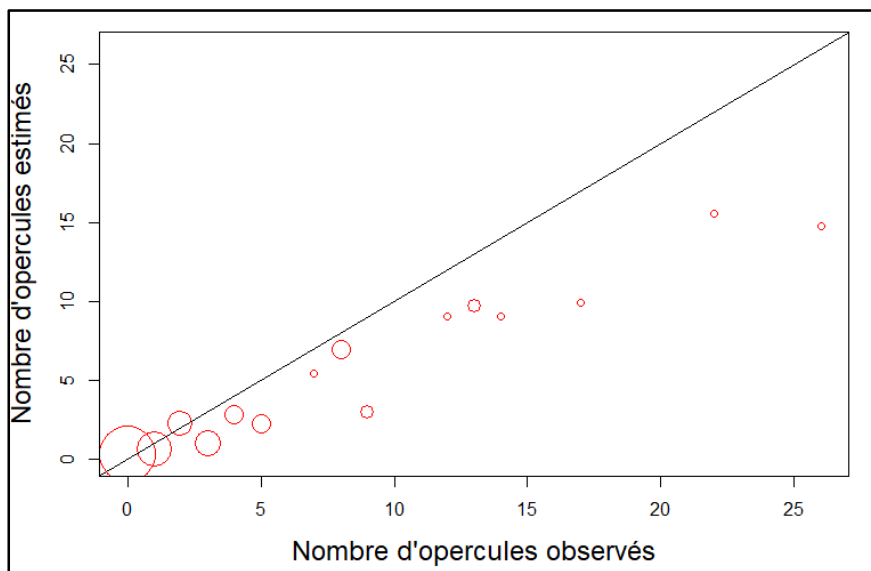


Figure 8 : Nombres d’opercules observés en fonction du nombre d’opercules estimés par le modèle “pratiques viticoles” (la taille des bulles suit une fonction logarithmique du nombre d’observations). La diagonale représente le résultat attendu avec un modèle parfait.

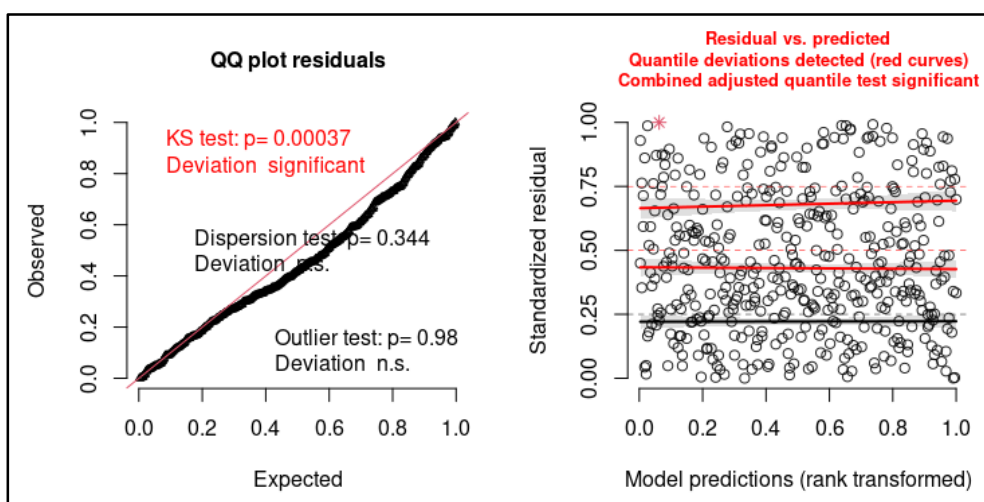


Figure 9 : a) Graphique quantile-quantile des résidus standardisés et résultats des tests de Kolmogorov-Smirnov (KS test), de dispersion (Dispersion test) et des valeurs extrêmes (Outlier test) pour le modèle spécifique à l’enherbement et aux pratiques viticoles ;

b) Graphique du rang des valeurs prédites en fonction des résidus standardisés.

	R² marginal :	R² conditionnel :
Méthode Delta :	0.36	0.87
Méthode Lognormal :	0.37	0.90
Méthode Trigamma :	0.34	0.82

Tableau 3 : Récapitulatif des coefficients de détermination du modèle “Pratiques viticoles”.

Enfin, le R^2 marginal du modèle (effets fixes uniquement) est compris entre 0.34 et 0.36 tandis que le R^2 conditionnel (modèle avec effets fixes et aléatoires) est compris entre 0.82 et 0.90 . Cela signifie que les effets fixes seuls (nos variables explicatives) permettent d'expliquer entre 34 et 36% de la variance. Notre modèle explique donc bien une bonne partie de la variance de notre variable dépendante (Tableau 3).

2. Pratiques de gestion du bassin versant

Parmi les 50 modèles évalués afin de déterminer les variables spécifiques à la gestion du bassin versant qui expliquent la variation du nombre d'opercules recensés dans les nichoirs, nous avons identifié le modèle le plus parcimonieux (Tableau 4). Celui-ci inclut la distance à la ville (Dville) et la distance à une haie (Dhaie) et la température moyenne des 15 jours précédant le relevé (TM).

Le modèle étant de type log-Poisson, l'effet unitaire de chaque variable du modèle peut être calculé via l'exponentiel de son coefficient (Tableau 4). Ainsi, un éloignement de 100 mètres de la ville multiplie le nombre d'opercules par 1,39 ou l'éloignement d'une haie multiplie le nombre d'opercules par 2.18. De même, l'augmentation de 1 degré de la température moyenne entraîne une augmentation du nombre d'opercules de 1.2.

En d'autres termes, la température moyenne de la quinzaine écoulée, la distance à la ville et à une haie ont un effet positif (Tableau 4, Figure 10).

La comparaison de la variable dépendante aux prédictions du modèle montre que ce dernier prédit bien les faibles valeurs mais bien moins les valeurs élevées (Figure 11).

Le modèle sélectionné ne renvoie que des effets significatifs (p -valeur des coefficients <0.05) et le test de significativité de l'ensemble des coefficients est aussi

Nombre d'observations :		550		
Nombre de group :		70		
EFFETS ALEATOIRES :				
Variance				
Nom : Paire		1.708		
Paire		2.214		
EFFETS FIXES :				
	Coefficients	Ecart-types	Z-test	P-valeur
Intercept	-8,549158	1.507195	-5,872	1.41e-08 ***
Dville	0,003297	0.001312	2,514	0,0119 *
Dhaie	0,007796	0.003875	2,012	0,0442 *
TM	0.219596	0.010490	20.934	<2e-16 ***
Test du ratio de vraisemblance :				
	Deviance	Chi²	Degré de liberté	p-valeur
	1222.2	554.7	3	< 2.2e-16 ***

Tableau 4 : Modèle linéaire généralisé mixte (log-Poisson) le plus parcimonieux du nombre d'opercules, sélectionné sur base de l'AIC (Nom = nom des nichoirs, Paire = binôme de nichoirs, Dville = distance à la ville, Dhaie = distance à une haie, TM = température moyenne de la 15ème précédant le relevé) et son test du ratio de vraisemblance.

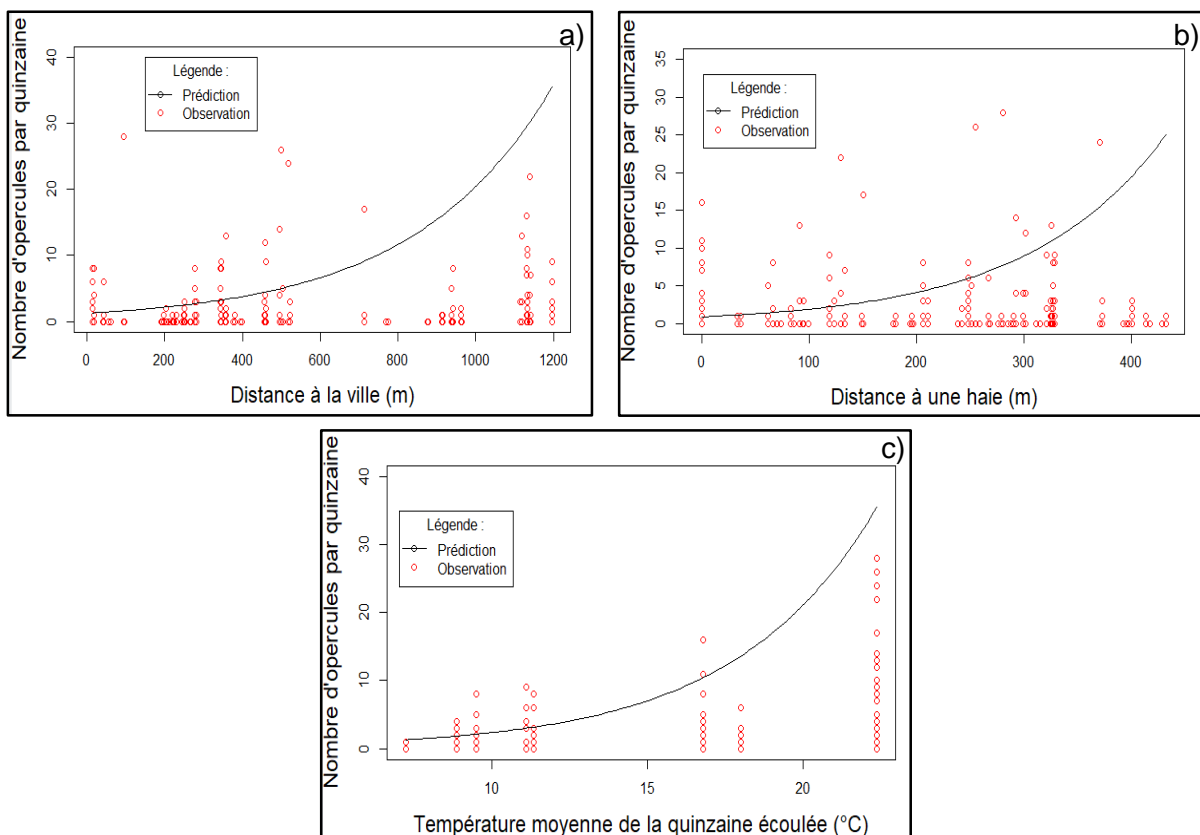


Figure 10 : Observations du nombre moyen d'opercules par quinzaines en fonction (a) de la distance du nichoir à la ville, (b) de la distance du nichoir à une haie et (c) de la température moyenne de la quinzaine écoulée et prédiction du modèle calculé sur base des effets fixes d'un nichoir (Tableau 4, autres variables explicatives fixées à leur valeur moyenne).

concluant (p -valeur $< 2.2e-16$; Tableau 4). Les tests de distribution des résidus sont peu satisfaisants (Figure 12 a)). Il est donc probable qu'il manque à notre modèle une ou plusieurs variables explicatives importantes pour prédire précisément la variable dépendante.

Le R^2 marginal du modèle (effets fixes uniquement) est compris entre 0.29 et 0.30 tandis que le R^2 conditionnel (modèle avec effets fixes et aléatoires) est compris entre 0.89 et 0.93. Cela signifie que les effets fixes seuls (nos variables explicatives) permettent d'expliquer entre 29 et 30% de la variance. Notre modèle explique donc bien une bonne partie de la variance de notre variable dépendante (Tableau 5).

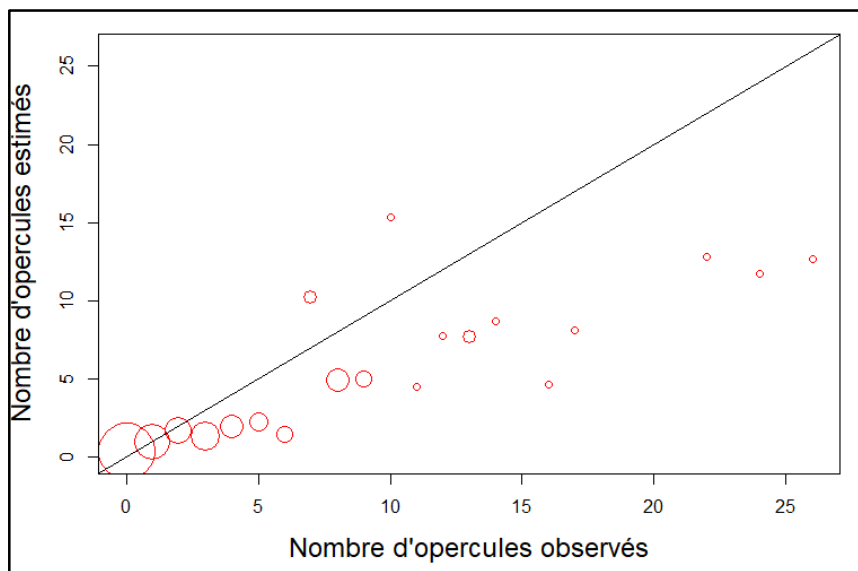


Figure 11 : Nombres d'opercules observés en fonction du nombre d'opercules estimés par le modèle "gestion du bassin versant". (la taille des bulles suit une fonction logarithmique du nombre d'observations). La diagonale représente le résultat attendu avec un modèle parfait.

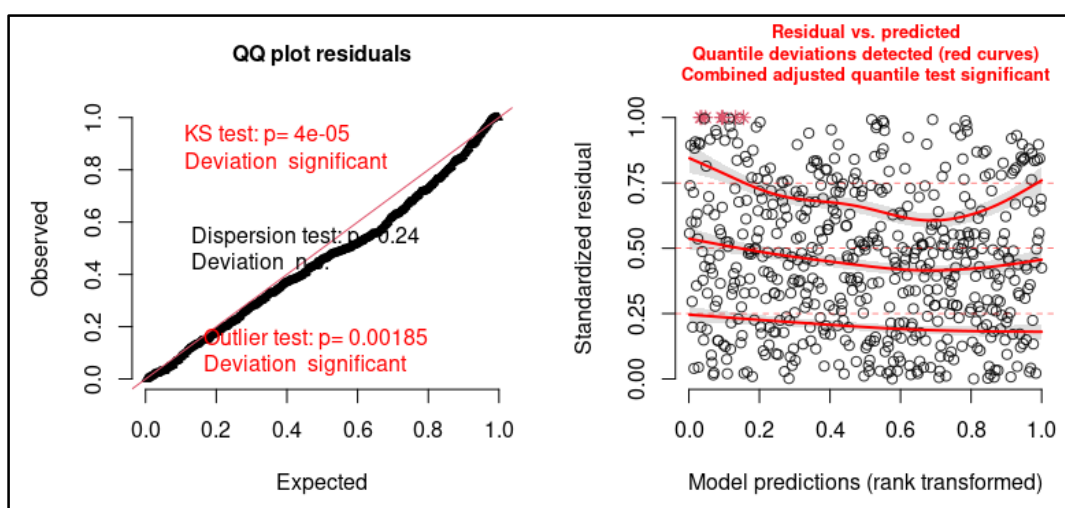


Figure 12 : a) Graphique quantile-quantile des résidus standardisés et résultats des tests de Kolmogorov-Smirnov (KS test), de dispersion (Dispersion test) et des valeurs extrêmes (Outlier test) pour le modèle spécifique aux pratiques de gestion du bassin versant ;
b) Graphique du rang des valeurs prédites en fonction des résidus standardisés.

	R² marginal :	R² conditionnel :
Méthode Delta :	0.304	0.913
Méthode Lognormal :	0.309	0.929
Méthode Trigamma :	0.295	0.887

Tableau 5 : Récapitulatif des coefficients de détermination du modèle "Gestion du bassin versant".

IV. Discussion

Il est admis que l'augmentation progressive de la température en début de saison conduit à une augmentation de l'activité et de l'abondance des insectes. En 2021, l'abondance a eu la même tendance que la température moyenne (Figure 5). Le bilan de 2018 de l'OAB effectué sur les données de leur dispositif de science collaborative montre une moyenne de 9 opercules par nichoirs, nos résultats sont inférieurs avec une moyenne de 5 opercules. Cependant, les données de cette étude n'ont été récoltées que jusque début juillet alors que le protocole OAB spécifie des récoltes jusqu'en octobre.

Les deux modèles sélectionnés ont mis en avant la température comme facteur conditionnant l'abondance d'Osmies et de Mégachiles sur le bassin versant. Ceci confirme l'enjeu grandissant des changements climatiques sur les espèces d'insectes pollinisateurs (Chagnon, 2016). L'autre grand problème est celui de la contamination de l'environnement par l'agriculture. Lorsque l'on examine la proportion d'occupation des nichoirs par modalités, on constate une occupation plus importante pour la forêt, la ville et les haies que pour les parcelles viticoles (Figure 6). Ces observations confirment donc l'effet délétère de l'agriculture sur l'abondance des insectes (Seibold et al., 2019).

Dans le modèle spécifique aux pratiques viticoles, en plus de la température, trois autres facteurs ont été mis en évidence. Tout d'abord, il semble que l'abondance soit plus grande à l'abord des parcelles. Cela peut être lié au fait que ces nichoirs sont en partie en contact avec les milieux semi-naturels contrairement à ceux du centre. Les bords de parcelles sont donc des zones où la pression liée aux pratiques viticoles est moins forte. De plus, nous montrons que les caractéristiques du couvert végétal sont des variables qui conditionnent l'abondance des Osmies et des Mégachiles dans les parcelles. Un couvert végétal dont la valeur pollinisatrice est forte est un couvert où la ressource alimentaire est effectivement plus importante (Haaland & Gyllin, 2011). Cela valide bien la véracité de nos calculs de valeurs pollinisatrices via l'indicateur Bourdon. Néanmoins, un couvert présentant un plus grand nombre d'espèces fleuries serait moins propice à l'abondance des deux taxons d'insectes étudiés. Ce dernier point pourrait être lié à la spécificité plantes-pollinisateurs, c'est à dire qu'un couvert comportant plus d'espèces végétales pourrait comporter une proportion moins importante en espèces intéressantes pour les Osmies et les

Mégachiles. Enfin, le semis mellifère, une conduite viticole plus respectueuse de l'environnement et la fauche tardive ne conditionnent pas l'abondance de ces pollinisateurs dans les parcelles et par conséquent n'ont pas d'effets significatifs sur la valeur pollinisatrice et la richesse spécifique du couvert. Les données de la littérature montrent que les lieux bénéficiant de semis mellifères sont généralement plus riches en espèces pollinisatrices que les enherbements spontanés, comme en bordure de cultures (Meek et al., 2002). Mais effectivement, certains taxons peuvent ne pas tirer parti ou même souffrir d'une augmentation de la diversité des plantes mellifères et donc dans ce cas, l'abondance des individus de ces taxons décroît dans les semis mellifères par rapport aux zones d'enherbement spontané (Huusela et al., 2016). Un autre facteur qui pourrait expliquer nos résultats, est que notre étude n'est basée que sur un échantillon de 14 parcelles ce qui est peu, surtout dans un bassin versant où la diversité est conditionnée par la position et l'environnement de la parcelle sur ce bassin versant (haut, bas, proche de la forêt). En ce qui concerne la fauche, il aurait été intéressant de continuer les relevés après la date du 1er juillet et d'évaluer la repousse à l'aide de la base IfloVi. Par ailleurs, la période de conduite de la fauche est décisive pour le maintien de la diversité florale (Kirmer et al., 2018) et il n'est pas certain que le traitement de fauche tel que nous l'avons enregistré soit suffisamment précis. Enfin, même si l'effet de l'agriculture semble perceptible dans l'ensemble de nos résultats (Figure 6), la conduite viticole de la parcelle ne semble pas avoir d'effet. L'absence d'impact de la conduite viticole est également contradictoire avec les résultats de l'OAB de 2018 qui montrent une plus grande abondance dans les parcelles en conduite biologique par rapport à celles conduites en agriculture conventionnelle (Observatoire Agricole de la Biodiversité, 2018). Cela peut être lié à un déséquilibre dans notre échantillonnage, avec une seule parcelle conduite en viticulture conventionnelle et de nombreuses parcelles en cours de conversion.

Concernant la gestion du bassin versant, nos résultats montrent que deux facteurs favorisent l'abondance des Osmies et des Mégachiles. L'abondance augmente lorsque l'on s'éloigne des haies et des villes. Les données de la littérature montrent que de façon générale des parcelles bordées par une forêt présentent une abondance plus importante (Romain Carrié, 2016) mais que différents critères conditionnent l'intérêt des lisières forestières pour les abeilles sauvages. Cela dépend de leur groupe écologique, de leur exigence et de leur histoire de vie ainsi que du type de lisières et des ressources qu'elles offrent (Bailey, 2014). Dans ce sens, les haies

étudiées présentent une diversité d'espèces assez variable, notre résultat peut donc être lié comme dans l'étude des parcelles viticoles à la spécificité plantes-pollinisateurs. Cette spécificité pouvant même aller jusqu'à des préférences de plantes selon les espèces et selon l'aliment recherché (pollen ou nectar), ainsi *Osmia rufa* a des préférences pour *Salix*, *Pyrus malus*, *Brassica napus oleracea*, *Ranunculus* et *Papaver rhoeas* tandis que *Osmia cornuta* préfère *Prunus*, *Pyrus malus*, *Brassica* et *Salix* (Tasei & Picart, 1973). Les haies pourraient être dominées par des espèces non-attractives pour les Osmies et les Mégachiles indigène du bassin versant. Cette spécificité plantes-pollinisateurs semble être une notion clef dans la conservation de ces espèces. Il semble indispensable d'effectuer plus de recherches dans ce sens afin de sélectionner des espèces herbacées et arborées permettant de composer des mélanges semés et des haies présentant une ressource floristique dirigée pour ces espèces sur le bassin versant. Mais de façon plus générale, afin de mettre en place des actions de conservation réellement efficaces. En ce qui concerne l'effet de la proximité de la ville, la littérature indique que l'abondance des abeilles sauvages indigène est plus importante dans des jardins résidentiels par rapport à des sites modifiés par l'homme où ce sont les abeilles introduites qui sont favorisées (Maclvor & Packer, 2015). Il semblerait donc que malgré la présence de surfaces vertes comportant des espèces végétales et donc une ressource alimentaire unique, la ville ne soit pas un lieu propice à une abondance en Osmies et en Mégachiles. Cela peut être lié à la pression environnementale qui y est trop forte mais il se pourrait également que les espèces végétales, qui sont pour la plupart allogènes, ne soient pas adaptées aux besoins alimentaires de ces espèces de pollinisateurs.

Cette étude met donc en évidence un certain nombre de facteurs positif et négatif sur l'abondance des Osmies et des Mégachiles. Toutefois, elle reste une approche assez superficielle par sa technique de comptage qui est spécifique à seulement deux taxons et par son effort d'échantillonnage qui reste modéré. Pour confirmer ces facteurs il serait intéressant de réitérer l'expérience en utilisant une méthode de transects, permettant ainsi à la fois d'obtenir des données sur la diversité et donc d'avoir la liste des espèces indigènes du bassin versant mais également sur la présence réelle de ces espèces dans les parcelles étudiées.

Pour conclure, les différentes pratiques viticoles mises en place sur le bassin versant pour favoriser la biodiversité n'ont pas eu les effets attendus sur l'abondance en Osmies et Mégachiles. Néanmoins, ces pratiques sont assez récentes, le semis à

haute valeur pollinisatrice est une première et ne peut être qu'amélioré. Et bien que ces résultats ne soient pas visibles sur les deux taxons étudiés, il est possible que d'autres organismes en bénéficient. En attendant, les efforts de conservation doivent se concentrer sur l'amélioration des connaissances alimentaires de ces espèces de pollinisateurs. Cela dans le but de composer des mélanges pour l'enherbement viticole mais également des haies plus attractives.

Annexes

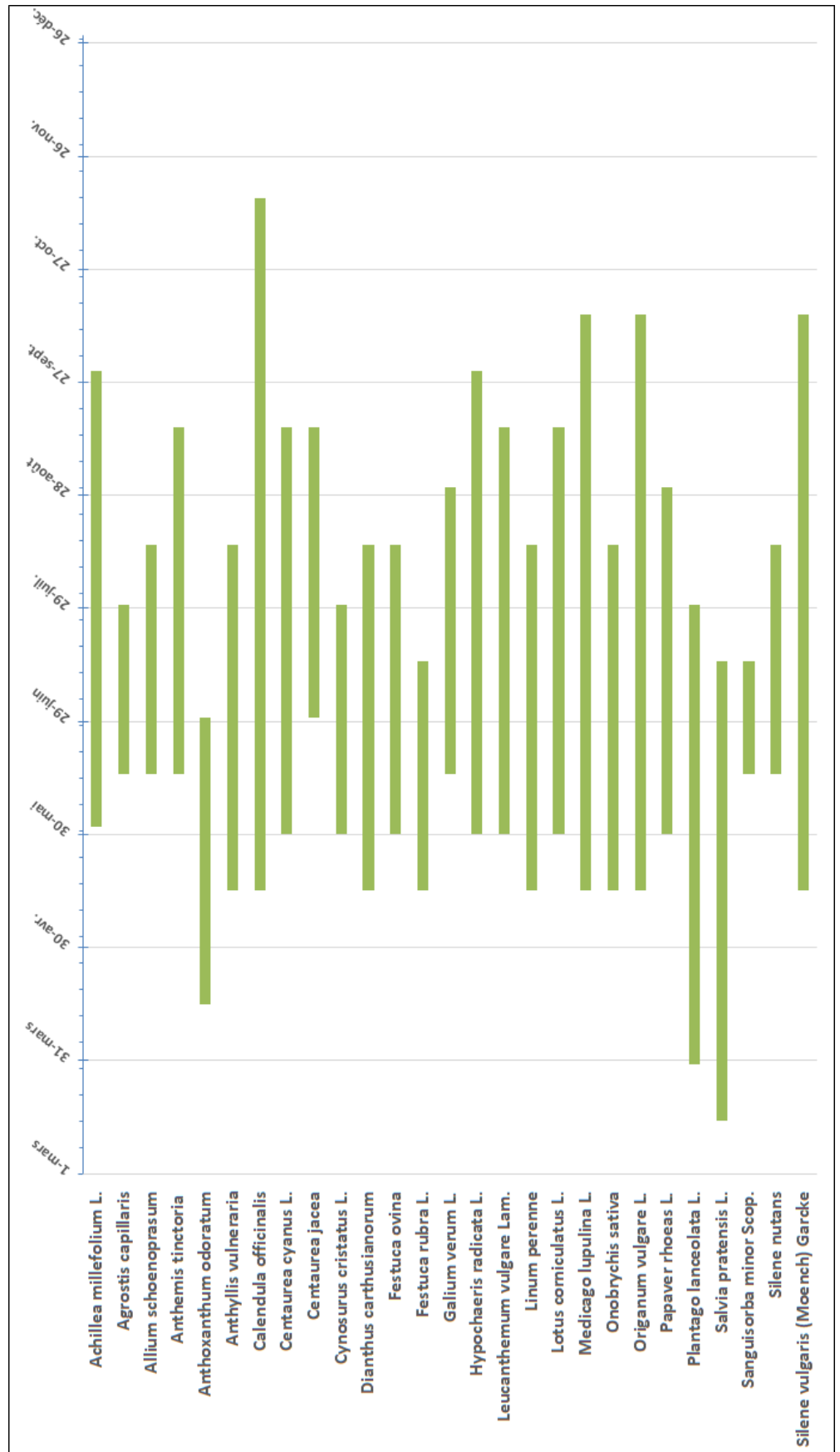
Annexe 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques viticoles et pédologiques des parcelles :

<u>Code de la parcelle :</u>	<u>Année de plantation :</u>	<u>Cépage :</u>	<u>Densité de plantation (nb de pieds/ha) :</u>	<u>Type de sol :</u>
1S	2007	Riesling	4800	Argileux
1T	7959	Gewurztraminer	4400	Argileux
2S	1970	Muscat	4700	Argilo-marneux
2T	?	Auxerrois	?	?
3S	?	Pinot noir	5000	Argilo-calcaire
3T	?	Pinot noir	5000	Argilo-calcaire
4S	1984 & 1996	Pinot gris	4525	Argileux
4T	1984 & 1996	Riesling	4525	Argileux
5S	1974	Gewurztraminer	5200	Marno-calcaire
5T	1993	Pinot gris	4800	Marno-calcaire
6S	?	Riesling	?	?
6T	?	Riesling	5000	Argilo-marneux
7S	1994	Pinot gris	4900	Argileux
7T	2010	Auxerrois	5000	Argilo-marneux

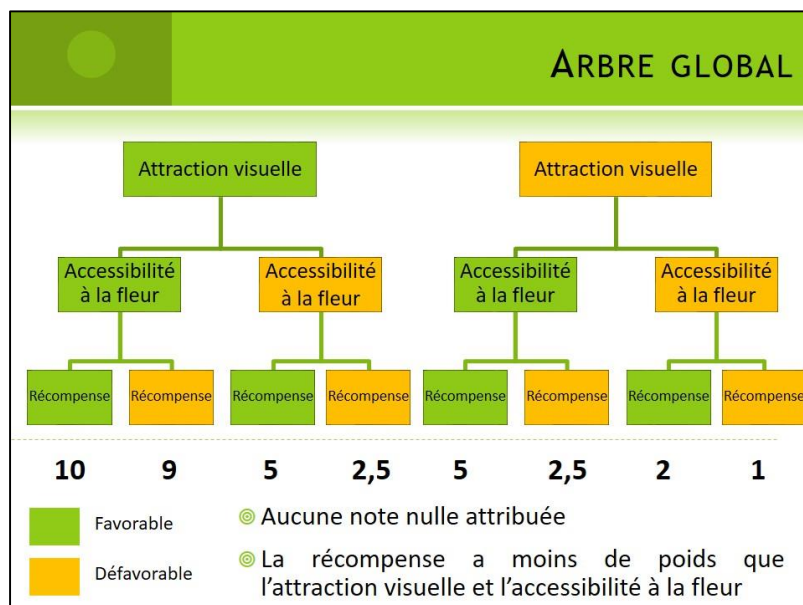
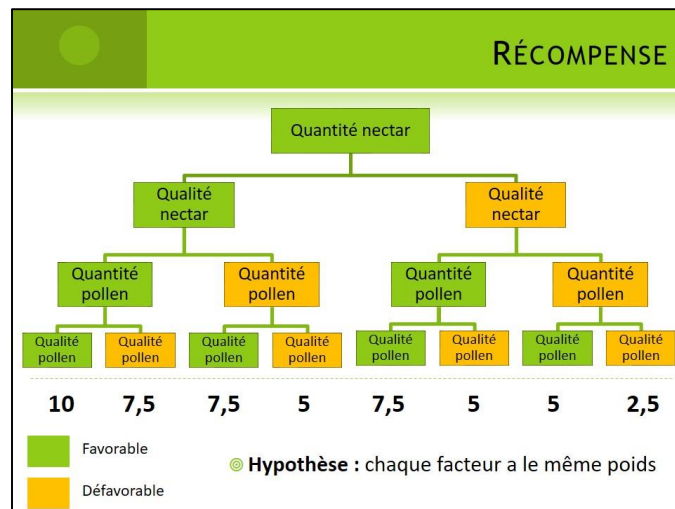
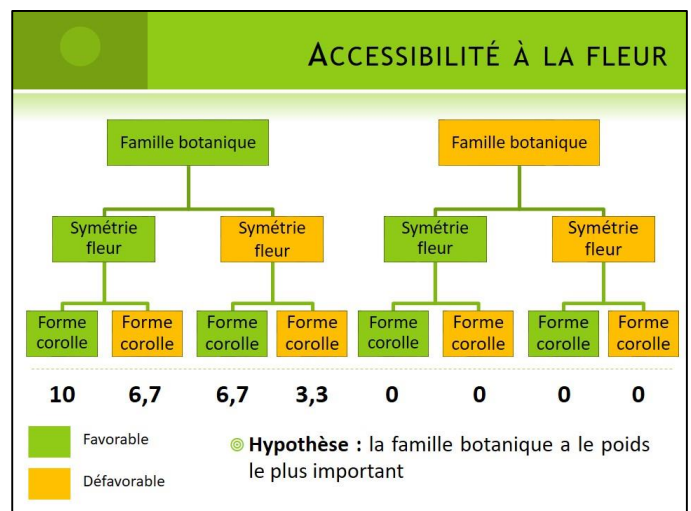
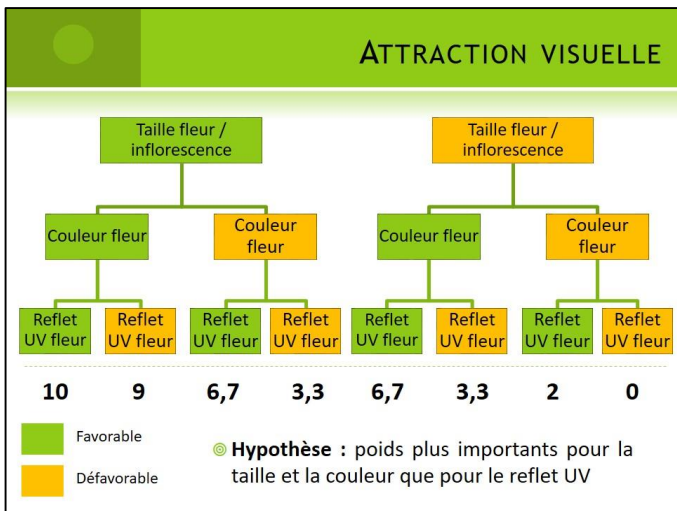
Annexe 2 : Tableau récapitulatif de la famille et de la valeur pollinisatrice (basée sur le calculateur bourdon) spécifique à chaque espèce composant le semis mellifère 2017

<u>Nom latin</u>	<u>Famille</u>	<u>Valeur pollinisatrice</u>	<u>Nom latin</u>	<u>Famille</u>	<u>Valeur pollinisatrice</u>	<u>Nom latin</u>	<u>Famille</u>	<u>Valeur pollinisatrice</u>
<i>Achillea millefolium</i>	Asteraceae	4,8	<i>Linum perenne</i>	Linaceae	5,7	<i>Agrostis capillaris</i>	Poaceae	1
<i>Allium schoenoprasum</i>	Liliaceae	4,5	<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae	6,3	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Poaceae	1
<i>Anthemis tinctoria</i>	Asteraceae	5,4	<i>Medicago lupulina</i>	Fabaceae	6,3	<i>Cynosorus cristatus</i>	Poaceae	1
<i>Anthyllis vulneraria</i>	Fabaceae	6,7	<i>Onobrychis sativa</i>	Fabaceae	9,6	<i>Festuca ovina</i>	Poaceae	1
<i>Calendula officinalis</i>	Asteraceae	5,8	<i>Origanum vulgare</i>	Lamiaceae	5,9	<i>Festuca rubra rubra</i>	Poaceae	1
<i>Centaurea cyanus</i>	Asteraceae	7,8	<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae	1			
<i>Centaurea jacea</i>	Asteraceae	7	<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	1			
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Caryophyllaceae	3,9	<i>Salvia pratensis</i>	Lamiaceae	8,0			
<i>Galium verum</i>	Rubiaceae	4,1	<i>Sanguisorba minor</i>	Rosaceae	1			
<i>Hypochoeris radicata</i>	Asteraceae	5,5	<i>Silene nutans</i>	Caryophyllaceae	4,6			
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Asteraceae	5,6	<i>Silene vulgaris</i>	Caryophyllaceae	4,6			
70 %								
30 %								

Annexe 3 : Diagramme des périodes de floraison du mélange (source : e-FloraSys, tela botanica)



Annexe 4 : Arbres de décision pour l'indicateur pollinisation : a) Etape 1 : Evaluation de l'attraction visuelle, b) Etape 2 : Evaluation de l'accessibilité à la fleur, c) Etape 3 : Evaluation de la récompense, c) Etape 4 : Arbre global



Projet pollinisateur sur le bassin versant de Ribeauvillé :

- **Informations générales :**

Société :

Nom et prénom :

Nombre de parcelle dans le projet :

Code cadastrale de la parcelle :

Cette parcelle a-t-elle subi de grosses interventions pendant l'année 2021 ? (exemple : arrachage, changement de certification, changement de conduite, ...)

La parcelle est-elle conduite en : (barrez ou supprimez les mauvaises réponses)

- Conventionnel
- Conversion biologique
- Biologique
- Biodynamie
- Autre :

Et cela depuis année(s)

- **Entretien de la parcelle en 2021 :**

Le cavillon était : (barrez ou supprimez la mauvaise réponse)

- Enherbé
- Désherbé chimiquement
- Désherbé mécaniquement

Si il était désherbé quelle outils ou produit a été utilisé :

Quand :

Entretien de l'inter-rang : (barrez ou supprimez la mauvaise réponse)

- Enherbement en plein entièrement spontané
- 1 inter rang enherbé spontané + 1 inter rang semé
- Enherbement en plein entièrement semé (semi différent 1 rang sur 2)

Si présence d'un ou plusieurs inter rang semé :

- o type de semi :
- o Année :

Pratiquez-vous le labour : (barrez ou supprimez la mauvaise réponse)

- Oui sur environ cm
- Non

Si oui : (barrez ou supprimez la/les mauvaise(s) réponse(s))

- o Sur 1 rang
- o Sur les deux rangs
- o Sous le cavaillon

Les apports au sol ont été : (barrez ou supprimez la mauvaise réponse)

- Organique
- Minéral

Date(s) d'apport(s) et produit(s) utilisé(s) :

- o Exemple type : Date, produit, dose
- o
- o
- o

Listez le(s) produit(s) phytosanitaire(s) utilisé(s) :

- Exemple type : Date, produit, dose
-
-
-
-
-
-
-
-

La fauche tardive (c'est-à-dire faite à partir du 1^{er} juillet) a-t-elle été appliquée en 2021 ? (barrez ou supprimez la mauvaise réponse)

- Oui

- Non

Date de la (des) fauche(s) :

-
-

Autres interventions :

Remarque :

Merci pour votre soutien dans le projet.

Annexe 6 : a) Répartition des 14 parcelles dans les différents types de conduite viticole (En conversion biologique : dans les 3 premières années de viticulture biologique ; Biologique avancée : viticulture biologique avec utilisation de préparations à base de plantes) ; b) Répartition du nombre de parcelles selon le type d'enherbement du rang enherbé et selon la pratique de la fauche tardive (fauche après le 1er juillet) en 2020 et 2021.

a)

<u>Conduite</u>	Conventionnelle		En conversion biologique		Biologique		Biologique avancée	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Nombre de parcelle	1	1	5	4	4	5	4	4

b)

	<u>Fauche tardive en 2020</u>		<u>Fauche tardive en 2021</u>	
	Oui	Non	Oui	Non
Nombre de parcelle	11	3	9	5

Bibliographie :

- Associations de Développement de l'Apiculture. (2020, novembre). L'apiculture professionnelle en chiffres. <https://www.adafrance.org/dvpt-apicole/apiculture-chiffres.php>
- Bailey, S. (2014). Quelle est la contribution des lisières forestières à la structuration des assemblages d'abeilles sauvages dans les paysages agricoles ? [Phdthesis, Université d'Orléans]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01203346>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. ArXiv e-prints, arXiv:1406. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111065>
- Calcagno, V., & de Mazancourt, C. (2010). glmulti : An R Package for Easy Automated Model Selection with (Generalized) Linear Models. *Journal Of Statistical Software*, 34. <https://doi.org/10.18637/jss.v034.i12>
- Chagnon, M. (2016, septembre). Changements climatiques réflexions et actions agronomiques.
- Chauvin, L. (2018). Abeille solitaire cherche logement. <https://curieusenature.wordpress.com/2018/03/08/abeille-solitaire-cherche-logement/>
- Comité français de l'UICN. (2018). Guide pratique pour la réalisation de Listes rouges régionales des espèces menacées. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/04/guide-pratique-listes-rouges-regionales-especes-menacees.pdf>
- Commissariat général au développement durable. (2018). Environnement & agriculture. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-06/datalab-36-environnement-agriculture-les-cc-edition-2018-juin2018.pdf>
- Commission Européenne. (2018, juin 1). Communication de la commission au parlement Européen, au conseil, au conseil économique et social Européen et au comité des régions. EUR-Lex.europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0395&from=FR>
- Delabays, N., Pétremand, G., & Fleury, D. (2016). Comparaison de six mélanges pour l'enherbement viticole dans l'arc lémanique. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 48, 322- 329.
- Graziano da Silva, J. (2019, mai 6). Communiqué de presse : Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère. IPBES. <https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr>

- Haaland, C., & Gyllin, M. (2011). Sown Wildflower Strips ♦ A Strategy to Enhance Biodiversity and Amenity in Intensively Used Agricultural Areas. <https://doi.org/10.5772/25076>
- Hartig, F. (2021, juillet 7). DHARMA : Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models. Cran. <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/vignettes/DHARMA.html>
- Hudewenz, A., & Klein, A.-M. (2013). Competition between honey bees and wild bees and the role of nesting resources in a nature reserve. *Journal of Insect Conservation*, 17(6), 1275- 1283. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9609-1>
- Huusela, E., Hyvönen, T., Norrdahl, K., Rinne, V., Saarijärvi, I., & Söderman, G. (2016). Different response of two Hemiptera species groups to sown wildflower strips : True bugs and leafhoppers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 93- 102. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.046>
- Kirmer, A., Rydgren, K., & Tischew, S. (2018). Smart management is key for successful diversification of field margins in highly productive farmland. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 251, 88- 98. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.028>
- Kopit, A. M., & Pitts-Singer, T. L. (2018). Routes of Pesticide Exposure in Solitary, Cavity-Nesting Bees. *Environmental Entomology*, 47(3), 499- 510. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy034>
- Le Féon, V., Geslin, B., Al Hassan, D., Aviron, S., Dufrêne, E., Genoud, D., Guibaud, L., Guilloux, T., Houédry, L., Jégat, R., Mahé, G., Paris, D., Requier, F., & Vaissière, B. (2016). Connaissances sur les abeilles sauvages (Hymenoptera, Apoidea) dans le Massif armoricain : Recensement des publications existantes et restitution des données de distribution apportées par trois programmes de recherche depuis 2000. 14, 31- 51.
- Les dorloteurs d'abeilles. (s. d.). Les abeilles sauvages. Les dorloteurs. <https://www.lesdorloteurs.fr/les-abeilles-sauvages/>
- MacIvor, J. S., & Packer, L. (2015). « Bee hotels » as tools for native pollinator conservation : A premature verdict? *PLoS ONE*, 10(3). Scopus. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122126>
- Meek, B., Loxton, D., Sparks, T., Pywell, R., Pickett, H., & Nowakowski, M. (2002). The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity. *Biological Conservation*, 106, 259- 271. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00252-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00252-X)
- Mollier, P., Sarazin, M., Savini, I., Vaissière, B., Belzunces, L., & Le Conte, Y. (2009). Le déclin des abeilles, un casse-tête pour la recherche. 2009. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02669222/>
- Noceto, P.-A., Fragnière, A.-L., Kehrl, P., Hériché, M., Fromentin, J., Rossi, V., Širca, S.,

- Ranca, A., Armengol, J., Trouvelot, S., Van tuinen, D., Courty, P.-E., & Wipf, D. (2020). Les couverts végétaux dans le vignoble : Un atout pour augmenter les services écosystémiques et réduire les intrants. 52, 240- 243.
- Observatoire Agricole de la Biodiversité. (2013). Mini-guide d'accompagnement au protocole « Abeilles solitaires ». <https://docplayer.fr/8348313-Mini-guide-d-accompagnement-au-protocole-abeilles-solitaires.html>
- Observatoire Agricole de la Biodiversité. (2016). Nichoir à abeilles solitaires. <https://www.observatoire-agricole-biodiversite.fr/les-protocoles/abeilles>
- Observatoire Agricole de la Biodiversité. (2018). Lettre d'information spéciale n°30 – BILAN 2018. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/RUBR-RD-innovation/Arbre-Haie/Feuille_ARBRE_Observatoire_agricole_biodiversite_bilan_2018.pdf
- ONU. (s. d.). La population. ONU. <https://www.un.org/fr/sections/issues-depth/population/index.html>
- Parlement Européen. (2020a, janvier 16). Perte de la biodiversité : Quelles en sont les causes et les conséquences ? Parlement Européen. <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20200109STO69929/perte-de-la-biodiversite-queelles-en-sont-les-causes-et-les-consequences>
- Parlement Européen. (2020b, mai 26). Espèces menacées en Europe – faits et chiffres (infographie). <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20200519STO79424/especes-menacees-en-europe-faits-et-chiffres-infographie>
- Rivers-Moore, J., Andrieu, E., Vialatte, A., & Ouin, A. (2020). Wooded Semi-Natural Habitats Complement Permanent Grasslands in Supporting Wild Bee Diversity in Agricultural Landscapes. *Insects*, 11(11), 812. <https://doi.org/10.3390/insects11110812>
- Rollin, O., Bretagnolle, V., Decourtye, A., Aptel, J., Michel, N., Vaissière, B. E., & Henry, M. (2013). Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179, 78- 86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.007>
- Romain Carrié. (2016). Hétérogénéité des paysages et des pratiques agricoles—Effets sur la diversité des abeilles sauvages et la pollinisation. In *Hétérogénéité des paysages et des pratiques agricoles—Effets sur la diversité des abeilles sauvages et la pollinisation*.
- Seibold, S., Gossner, M., Simons, N., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J., Linsenmair, K., Naus, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Ernst Detlef, S., Vogt, J., Wöllauer, S., & Weisser, W. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*,

574, 671- 674. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>

- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L., Bonmatin, J.-M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Mcfield, M., Mineau, P., Mitchell, E., Morrissey, C., & Wiemers, M. (2014). Systemic insecticides (Neonicotinoids and fipronil) : Trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>
- Simonovici, M. (2020). Pratiques phytosanitaires en viticulture—Campagne 2016—Données. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/ChdAgri2004/detail/>
- Singh, R., Levitt, A., Rajotte, E., Holmes, E., Ostiguy, N., VanEngelsdorp, D., Lipkin, W., dePamphilis, C., Toth, A., & Cox-Foster, D. (2010). RNA Viruses in Hymenopteran Pollinators : Evidence of Inter-Taxa Virus Transmission via Pollen and Potential Impact on Non-Apis Hymenopteran Species. *PloS one*, 5, e14357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014357>
- Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. (2000). Resource overlap and possible competition between honey bees and wild bees in central Europe. *Oecologia*, 122(2), 288- 296. <https://doi.org/10.1007/s004420050034>
- Tasei, J.-N., & Picart, M. (1973). LE COMPORTEMENT DE NIDIFICATION CHEZ OSMIA (OSMIA) CORNUTA LATR. ET OSMIA (OSMIA) RUFA L. (HYMENOPTERA MEGACHILIDAE). *Apidologie*, 4(3), 195- 225. <https://doi.org/10.1051/apido:19730301>
- TREIBER, R. (2015). La Liste rouge des Apidés menacés en Alsace. http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/liste_rouge_alsace_apides_2015_livret.pdf
- Trois fois vin. (2016, mai 18). Tout savoir sur la viticulture. Trois fois vin. <https://www.troisfoisvin.com/blog/tout-savoir-sur-la-viticulture/>
- Van Reeth, C. (2017). Influences de l'organisation du paysage sur l'abondance des abeilles sauvages, leur diversité et le service de pollinisation en prairie permanente [These de doctorat, Université de Lorraine]. <http://www.theses.fr/2017LORR0311>
- Veyrieras, J.-B. (2021, janvier 26). Déclin des insectes : L'urgence d'agir. *Le journal CNRS*. <https://lejournel.cnrs.fr/articles/declin-des-insectes-lurgence-dagir>
- Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Shore, R. F., Heard, M. S., Pereira, M. G., Redhead, J., Ridding, L., Dean, H., Sleep, D., Henrys, P., Peyton, J., Hulmes, S., Hulmes, L., Sárospataki, M., Saure, C., Edwards, M., Genersch, E., Knäbe, S., & Pywell, R. F. (2017). Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, 356(6345), 1393. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1190>