
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Assistant chef de projet écologue

Biotope AuRA
26 rue Emile Decorps, 69 100 Villeurbanne

Tuteur entreprise :
Eva Boyer
Chef de Projet Ecologue



Tuteur académique :
Céline Tanguay

Alice Bourda
IUT
2020-2021

Stage assistant chef de projet écologue

Efficacité et éligibilité des mesures agroécologiques au titre de la compensation des atteintes à la biodiversité

Table des matières

Liste des tableaux, figures et annexes.....	III
Abréviations	III
Remerciements	IV
1. Introduction.....	1
2. Présentation de la structure d'accueil	1
2.1. Biotope, un acteur privé de l'environnement	1
2.1.1. Biotope : référence européenne de l'écologie.....	1
2.1.2. Diversité et complémentarité des études et métiers	2
2.2. Fonctionnement de l'agence AuRA (Auvergne-Rhône Alpes).....	3
3. Les nombreuses compétences de l'équipe projet et les spécialisations variées des experts (Annexes.....)	3
4. Missions abordées : à la découverte de la diversité des tâches et compétences requises dans un bureau d'étude.....	3
4.1. Elaboration de Plan de Gestion d'Espaces Naturels Sensibles.....	3
4.1.1. Définitions	3
4.1.2. Diagnostics territoriaux de l'ENS de Sermenaz et du parc départemental de Lorient : des contextes différents	4
4.1.3. Définition des enjeux, objectifs et pistes d'action de l'ENS de Sermenaz	5
4.2. Modélisation de la Trame Verte et Bleue (TVB) via les outils BioDispersal et Graphab	6
4.2.1. Elaboration de la Charte Environnementale pour la Biodiversité de Caluire-et-Cuire ...	6
4.2.2. BioDispersal et Graphab	6
4.3. Statistiques multivariées d'indicateurs environnementaux de territoire	8
4.3.1. La séquence ERC à l'échelle du département	8
4.3.2. Données mises à disposition	8
4.4. Campagne de déplacement de crapauds calamites.....	10
4.4.1. Description de l'espèce et du contexte localisé	10
5. Mission principale : synthèse bibliographique des effets des mesures agroécologiques sur la biodiversité.....	12
5.1. La commande	12
5.2. Matériel et méthode	13
5.3. Résultats	13
5.3.1. Cultures associées	14
5.3.2. Réduction des traitements aux produits phytopharmaceutiques	15

5.3.3.	Conversion à l'agriculture biologique.....	19
5.3.4.	Mise en place d'agroforesterie.....	21
5.3.5.	Mise en place de paillage végétal.....	23
6.	Réflexions générales et pistes d'amélioration	25
6.1.	Limites de la synthèse bibliographique	25
6.2.	Les limites de la compensation écologique et agricole.....	26
6.3.	La place, le rôle et le devoir du bureau d'études : une position parfois délicate	27
6.4.	Rétrospection et introspection	28
7.	Conclusion	28
8.	Bibliographie.....	31
8.1.	Bibliographie générale.....	31
8.2.	Bibliographie des mesures agroécologiques.....	31
8.2.1.	Culture associée	31
8.2.2.	Réduction des traitements aux produits phytosanitaires	32
8.2.3.	Conversion à l'agriculture biologique.....	33
8.2.4.	Mise en place d'agroforesterie.....	34
8.2.5.	Mise en place de paillage végétal.....	34
9.	Annexes	35

Liste des tableaux, figures et annexes

<i>Figure 1 : Localisation des agences et des aires d'interventions de Biotopie à travers le monde</i>	2
<i>Figure 2 : Liste non-exhaustive des études globales et réglementaires effectuées par Biotopie</i>	2
<i>Figure 4 : Les grandes parties d'un plan de gestion d'espace naturel (inspiré du guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et des travaux de Biotopie</i>	4
<i>Figure 5 : Schéma de l'ébauche des enjeux et objectifs écologiques du plan de gestion du parc de Sermenaz et ses pistes d'action</i>	5
<i>Figure 6 : Cartes des réservoirs et corridors théoriques de la commune de Caluire et Cuire, A : les milieux boisés, B : les milieux arbustifs, C : les milieux agricoles et D : les milieux ouverts et humides regroupés seulement pour des questions de lisibilité</i>	7
<i>Figure 7 : Cercle de corrélation des notes des indicateurs écologiques et agricoles de la Drôme</i>	9
<i>Figure 8 : Tableau de corrélation entre chaque indicateur écologique ou agricole de la Drôme</i>	9
<i>Figure 9 : Crapaud calamite (Epidalea calamita) (Source : photographie personnelle)</i>	10
<i>Figure 10 : Crapauds calamites adultes (à gauche) et pontes (à droite) dans les seaux pour déplacement (Source : photographies personnelles)</i>	11
<i>Figure 11 : Evolution des ventes de substances actives par type d'usage en France (source : BNV-D, données sur les ventes au code commune Insee des distributeurs, extraites le 22 novembre 2019)</i>	16
 <i>Tableau 1 : Synthèse des diagnostics des ENS de Sermenaz et de Lorient</i>	4
<i>Tableau 2 : Extrait du tableau des effets des mesures agroécologiques sur les différents taxons (20/08/2021)</i> .	29
 <i>Annexe 1: Organigramme de l'agence AuRA</i>	35
<i>Annexe 2 : Localisation de l'ENS de Sermenaz</i>	36
<i>Annexe 3 : Localisation de l'ENS du parc départemental de Lorient</i>	37

Abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales
 AuRA : Auvergne Rhône-Alpes
 ENS : Espace Naturel Sensible
 ERC : Eviter-Réduire-Compenser
 MA : Mesure d'Accompagnement
 MAE : Mesure AgroEcologique
 MASE : Management, Sécurité, Santé, Environnement
 MC Mesure de Compensation
 MR : Mesure de réduction
 OFB : Office Français de la Biodiversité
 PG : Plan de Gestion
 SIG : Système d'Information Géographique
 TVB : Trame Verte et Bleue

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma tutrice professionnelle Eva BOYER de m'avoir partagé son expérience et permis de découvrir son métier ainsi que le fonctionnement du bureau d'études Biotope.

Je remercie également Amélie MACQ, Lucie WEGENER et Anaïs BUATIER pour leur confiance et leur temps accordé pour mon implication dans leurs projets. De même, merci à Benoît DAIME et Hélène BAILLAIS de m'avoir offert un aperçu du travail des experts faunistes sur le terrain.

Je tiens à exprimer également une profonde gratitude envers tous les salariés de l'agence Auvergne Rhône-Alpes pour leur accueil, leur aide et leur gentillesse tout au long du déroulement de mon stage.

J'aimerais faire une mention spéciale aux autres stagiaires de Biotope AuRA à cette période, Alice et Marie, pour leur soutien émotionnel ainsi qu'à toutes autres les belles rencontres que j'ai pu faire sur Lyon.

Je souhaite enfin remercier ma tutrice pédagogique Céline TANGUAY ainsi que tout le personnel académique de l'école polytechnique de l'université de Tours avec qui j'ai été en lien pour la formalisation de mon stage.

1. Introduction

La loi relative à la protection de la Nature de 1976 introduit dans le droit français la séquence « Eviter-Réduire-Compenser » dite ERC qui consiste à établir des mesures visant à éviter les atteintes à l'environnement, à réduire celles qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si possible, à compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018). Cette séquence se met en œuvre lors de la réalisation de projets ou de plans/programmes et s'applique à l'ensemble des composantes de l'environnement (article L.122-3 du code de l'environnement). Dès lors, les bureaux d'études environnementaux se démultiplient et se présentent comme un acteur privé d'accompagnement dans la réalisation de ceux-ci, conformément à la réglementation environnementale en vigueur.

Représentant 52 % de la surface du territoire français en 2019 (Agreste, 2020), l'agriculture est au cœur de la transition écologique. Les acteurs agricoles peuvent ainsi être sujets ou auteurs d'impacts sur l'environnement et la biodiversité et être confrontés à la mise en œuvre de la séquence ERC. La politique commune européenne a par ailleurs mené à une intensification de l'agriculture en promouvant non seulement la simplification mais aussi la spécialisation des agroécosystèmes (Emmerson et al., 2016). Ces deux processus continus participent à l'érosion de la quantité et de la qualité des habitats de nombreuses espèces faunistiques et floristiques, diminuant ainsi la biodiversité globale.

Au premier plan dans la veille de l'application de la séquence ERC, le bureau d'études Biotopie souhaite développer ses compétences et son expertise agroécologique afin de prétendre aux marchés émergents dans le domaine. C'est dans le cadre d'un appel à projet de l'Office Français pour la Biodiversité, qu'il m'a été amené d'étudier l'éligibilité des Mesures Agro-Ecologiques (MAE) en tant que mesures compensatoires à travers mon stage de fin d'études.

Le présent livrable se constitue donc premièrement d'une présentation de Biotopie et de ses activités, puis d'un descriptif de mes missions et des tâches qu'il m'a été amené d'effectuer dont la mission d'évaluation des MAE, d'une analyse des résultats obtenus pour ce dernier et enfin d'une réflexion sur les limites et points d'améliorations.

2. Présentation de la structure d'accueil

2.1. Biotopie, un acteur privé de l'environnement

2.1.1. Biotopie : référence européenne de l'écologie

Biotopie est un bureau d'études d'impacts fondé en 1993 par Frédéric Melki. Composée à ses prémices de quelques naturalistes passionnés, l'entreprise se développe jusqu'à atteindre aujourd'hui plus de 250 salariés.

Ses clients sont divers : entreprises, collectivités, états et services de l'état ou encore ONG peuvent faire appel à Biotopie qui intervient désormais dans plus de 25 pays. En effet, l'entreprise compte 18 implantations en France métropolitaine et outre-mer et 7 filiales ce qui lui permet de réaliser et soutenir des actions sur les 6 continents et 5 océans. Son siège social se situe à Mèze dans le département de l'Hérault, où se concentrent les activités de communication, la maison d'édition, les services RH et l'administration tandis que les autres implantations ont une activité de bureau d'étude (Figure 1).



Figure 1 : Localisation des agences et des aires d'interventions de Biotope à travers le monde

En 2019, son chiffre d'affaires est d'environ 18,5 millions d'euros dont 7% sont investis en R&D (Biotope, 2020).

2.1.2. Diversité et complémentarité des études et métiers

Biotope propose de nombreux services (Figure 2) qui se regroupent principalement en études et ingénierie écologique sous la forme d'expertises naturalistes, études réglementaires, accompagnements stratégiques, assistance à maîtrise d'ouvrage et gestion et conservation de la biodiversité. Parallèlement, Biotope propose également du conseil, des formations, de la communication et possède sa propre maison d'édition – Biotope Editions - qui a déjà publié plus de 175 ouvrages sur la nature (guide d'identification, atlas de répartition, beaux livres, guides de randonnées nature, etc.).

Etudes portées par Biotope	Etudes réglementaires faites à Biotope
- Rédaction d'un Formulaire Standard de Données (FSD) - Diagnostic environnemental - Réalisation d'un cahier des charges de génie végétal - Contrôle qualité de prestation - Suivi écologique - Comparaison de variantes - Définition d'un protocole de suivi - Expertise écologique - Suivi de chantier - Volet faune flore d'une étude d'impact sur l'environnement - Programme d'actions - Inventaire de zones humides - Etude de faisabilité - Définition de mesures ERC - Atlas des paysages - Evaluation environnementale PLU - Dossier de demande de classement en réserve naturelle régionale - ...	- Evaluation des incidences au titre de l'article L-214-1 à L-214-6 du code de l'environnement - Etude d'impact environnemental - Dossier d'enquête parcellaire - Demande d'enregistrement - Demande de dérogation au titre de l'article L.411-2 du code de l'environnement - Demande d'Autorisation d'Exploiter - Demande d'Autorisation Environnementale - Déclaration d'Intérêt Général - Demande de défrichement - Déclaration de projet - Dossier d'enquête publique préalable à la Déclaration d'Utilité Publique - Evaluation des incidences au titre de l'article L414-4 du Code de l'Environnement - Dossier de mise en compatibilité d'un PLU - Dossier « Site Classé » - ...

Figure 2 : Liste non-exhaustive des études globales et réglementaires effectuées par Biotope

Les salariés de Biotope sont majoritairement des ingénieurs, naturalistes ou docteurs. Le chef de projet est le coordinateur, référent et interlocuteur principal du client. Il se charge d'encadrer l'équipe affectée à ce projet et de mener à bien la mission afin de répondre aux attentes du client. Selon le type de prestation vendu, il peut faire appel à une équipe de terrain qui apporte une expertise adaptée à la prestation et aux enjeux selon les groupes taxonomiques à l'études : ornithologue, chiroptérologue, entomologiste, fauniste, botaniste ...

2.2. Fonctionnement de l'agence AuRA (Auvergne-Rhône Alpes)

L'antenne Auvergne-Rhône Alpes de Biotopie se situe à Villeurbanne, plus précisément au 26 rue Emile Decorps dans les locaux du Pôle Pixel et gère tous les projets de la région Auvergne Rhône-Alpes depuis plus de 10 ans. La coordination de l'équipe passe par une réunion d'agence un lundi sur trois lors de laquelle sont passés en revue l'activité commerciale de l'agence (les projets obtenus ou perdus, ceux à répondre...), les projets en cours, le planning et les disponibilités de chacun.

3. Les nombreuses compétences de l'équipe projet et les spécialisations variées des experts (Annexes)

Annexe 1: Organigramme de l'agence AuRA) permettent à l'agence d'offrir ses services sur plusieurs thématiques :

- Conservation et gestion des milieux naturels et des paysages,
- Management des études règlementaires et institutionnelles,
- Assistance environnementale en phase opérationnelle,
- Conseil afin d'intégrer la biodiversité tout au long des décisions « business ».

L'agence AuRA a également porté le processus de la certification Management, Sécurité, Santé, Environnement (MASE) début 2018 et a été officiellement certifiée en juin 2019. Celle-ci vise l'amélioration des aspects de Sécurité-Santé-Environnement dans le temps en faisant par exemple le constat d'Evènements Non-Souhaités (ENS) et en implémentant des consignes, conseils ou protocole afin de les éviter.

4. Missions abordées : à la découverte de la diversité des tâches et compétences requises dans un bureau d'étude

Dans cette partie sont abordées les différentes missions qui ont été traitées durant la période du stage. La mission principale est traitée dans la partie suivante. Pour chacune d'entre-elles sont généralement expliqués le contexte global de la mission, son protocole et/ou déroulé ainsi qu'un aperçu ou une synthèse de ses résultats. Une analyse des savoir-faire et des savoir-être est apportée en conclusion de chaque mission ainsi que les potentielles limites et améliorations identifiées pour la tâche traitée.

4.1. Elaboration de Plan de Gestion d'Espaces Naturels Sensibles

4.1.1. Définitions

Créé par la loi 76.1285 de 1976, un Espace Naturel Sensible (ENS) est un espace « dont le caractère naturel est menacé et rendu vulnérable, actuellement ou potentiellement, soit en raison de la pression urbaine ou du développement des activités économiques ou de loisirs, soit en raison d'un intérêt particulier eu égard à la qualité du site ou aux caractéristiques des espèces végétales ou animales qui s'y trouvent ». C'est donc un outil juridique mis à la disposition des départements en 1985 (Assemblée des départements de France, 2015) afin de préserver et de répondre aux enjeux écologiques, paysagers et socio-économiques de ces espaces.

Les départements peuvent se doter d'un Plan de Gestion (PG) pour leur(s) ENS afin d'avoir une vision globale permettant une programmation opérationnelle de gestion. Ses composantes principales sont illustrées par la figure suivante :

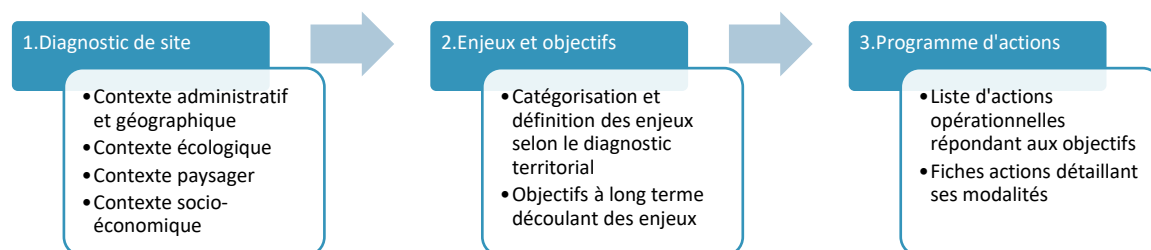


Figure 3 : Les grandes parties d'un plan de gestion d'espace naturel (inspiré du guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et des travaux de Biotopie

Le PG est un document stratégique qui est partagé et élaboré conjointement entre toutes les parties prenantes. La programmation d'actions a pour but sa mise en place et les résultats obtenus de cette gestion ont vocation à faire l'objet d'un nouvel état des lieux et d'un renouvellement de ses actions environ tous les 3 à 5 ans (OFB, 2021).

4.1.2. Diagnostics territoriaux de l'ENS de Sermenaz et du parc départemental de Lorient : des contextes différents

En 2021, Biotopie est chargé de réaliser les plans de gestion des ENS du parc de Sermenaz situé à Rillieux-la-Pape (69140) (Annexe 2) et du parc départemental de Lorient (Annexe 3) situé sur la commune de Montélu (26760). Destiné à permettre la mise en œuvre d'un plan d'actions spécifique et adapté au territoire, il est important de relever toutes les caractéristiques propres du site. Celles de ces deux ENS sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Synthèse des diagnostics des ENS de Sermenaz et de Lorient

	ENS du parc de Sermenaz	ENS du parc départemental de Lorient
Localisation et description	117 ha au nord de l'agglomération lyonnaise, au cœur du tissu urbain	20 ha entre l'agglomération de Valence et le massif du Vercors
Politique ENS	Gestion déléguée à la métropole de Lyon qui met en place un projet Nature	Géré par le département de la Drôme
Historique et vie actuelle	Multiplis actions déjà menées (mise en valeur, aménagement, animations pédagogiques, études) dont certaines se poursuivent aujourd'hui	Aménagé en 1989 en espace naturel de détente, suivi d'une phase de travaux entre 2015 et 2017, le site accueille chaque année plus de 200 000 personnes
Contexte paysager	Paysage contrasté (vallon, plateau...) avec point de vue sur Lyon (belvédère)	Prairie centrale entourée par des boisements parfois inaccessibles avec de nombreux aménagements et structures artistiques en matériau naturel
Zonages environnementaux	1 ZNIEFF dans le site et 1 intercepté par son périmètre	Aucune ZNIEFF dans le site ou à proximité
Foncier et urbanisme	Foncier communal (36.8%) départemental ou national (près de 32%) et privé (près de 31%) principalement classé N1, N2 et N2s au PLU-H	Zone UL (Zone urbaine à vocation d'activités de détente, de sports et de loisirs) sur le PLU de Montélu et R1 (important risque d'inondation)
Milieu physique	Température moyenne et ensoleillement supérieurs à la moyenne nationale, présence de 2 ruisseaux temporaires	Site encadré à l'est et au sud par la Véore avec une zone humide sur la tranche sud du site
Contexte écologique	Différents habitats : boisements, prairies à flore patrimoniale, mare ... nombreuses espèces exotiques envahissantes	-
Patrimoine paysager, culturel et historique	Ancien milieu ouvert et pâturé	Nommé d'après le domaine de Lorient dont on peut voir les vestiges de la demeure pur style XIXème
Diagnostic socio-économique	Principalement activité de balade et loisirs (randonnées, VTT ...), pas d'activité économique au sein du parc	Activités sportives (terrain de tennis, écuries, terrain de basket ...), aire de pique-nique
Points noirs	Usages parfois mal maîtrisés, présence de déchets, lieu peu fréquenté	-

4.1.3. Définition des enjeux, objectifs et pistes d'action de l'ENS de Sermenaz

Le Plan de Gestion du Parc de Lorient en est encore à sa phase de diagnostic tandis que celui de Sermenaz en est à la définition des enjeux et objectifs découlant de son diagnostic ainsi qu'à l'élaboration du plan d'action. Suite à un Comité de Pilotage avec les élus municipaux, ces enjeux, objectifs et pistes d'actions ont été débattus, réajustés et décidés (Figure 4).

Le guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels de l'OFB redéfinit les enjeux comme suit : « Un enjeu désigne « ce qui est en jeu », « ce qui est à perdre ou à gagner » sur le site. Dans le cadre de la rédaction du document de gestion, les enjeux sont constitués des éléments du patrimoine (naturel, géologique ou culturel) ou du fonctionnement (écologique ou socio-économique) de l'EN[S] pour lesquels ce dernier a une responsabilité et que l'on doit préserver ou améliorer. »

L'objectif quant à lui « définit l'état ou le fonctionnement souhaité par rapport à la situation actuelle de l'enjeu, qu'il faut viser pour le préserver ». A partir de celui-ci peut être défini l'objectif « opérationnel » ou l'action qui constitue le « choix de gestion à moyen terme établis au regard de l'analyse des facteurs qui influencent l'état des enjeux et l'atteinte des objectifs à long terme ».

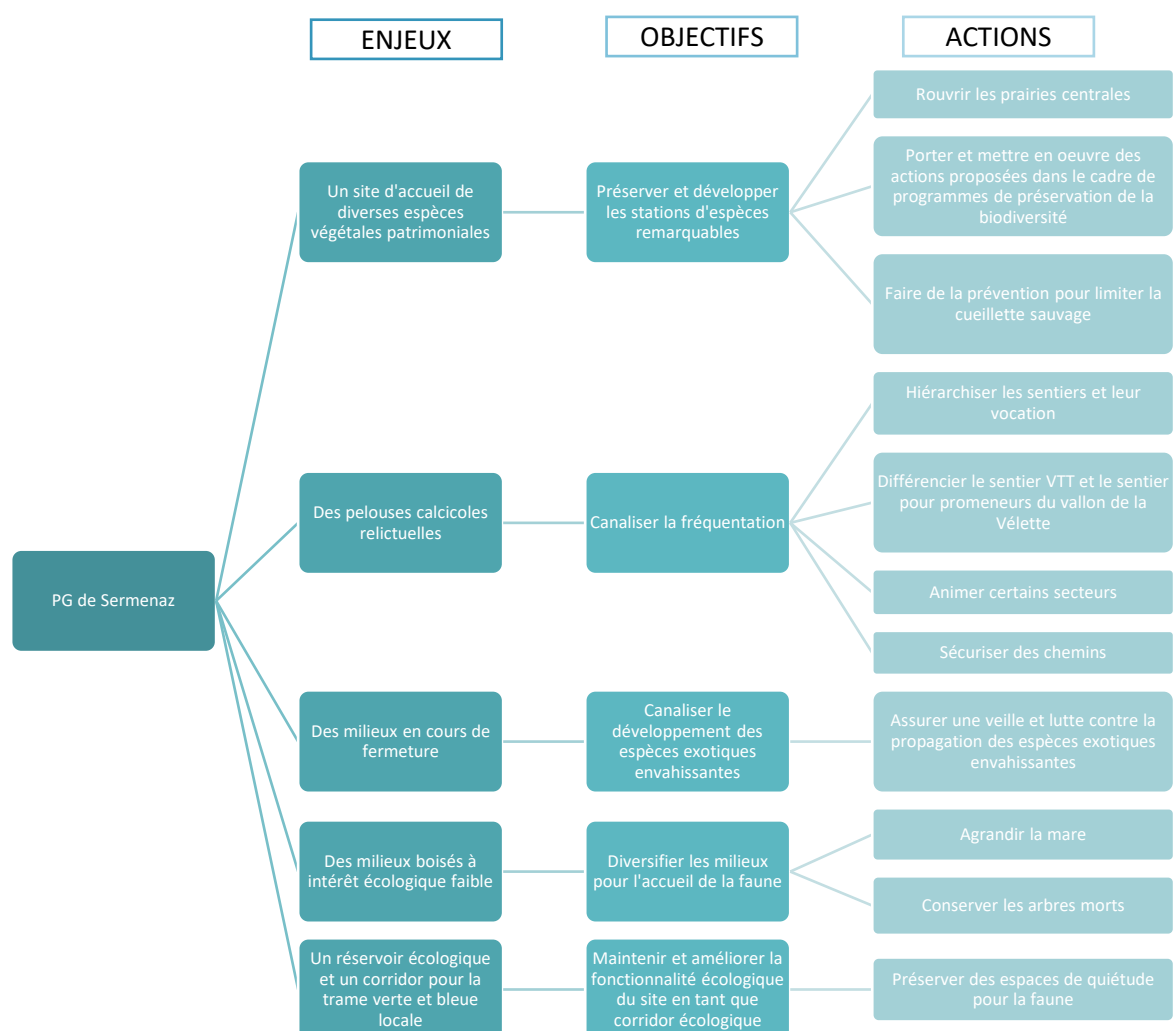
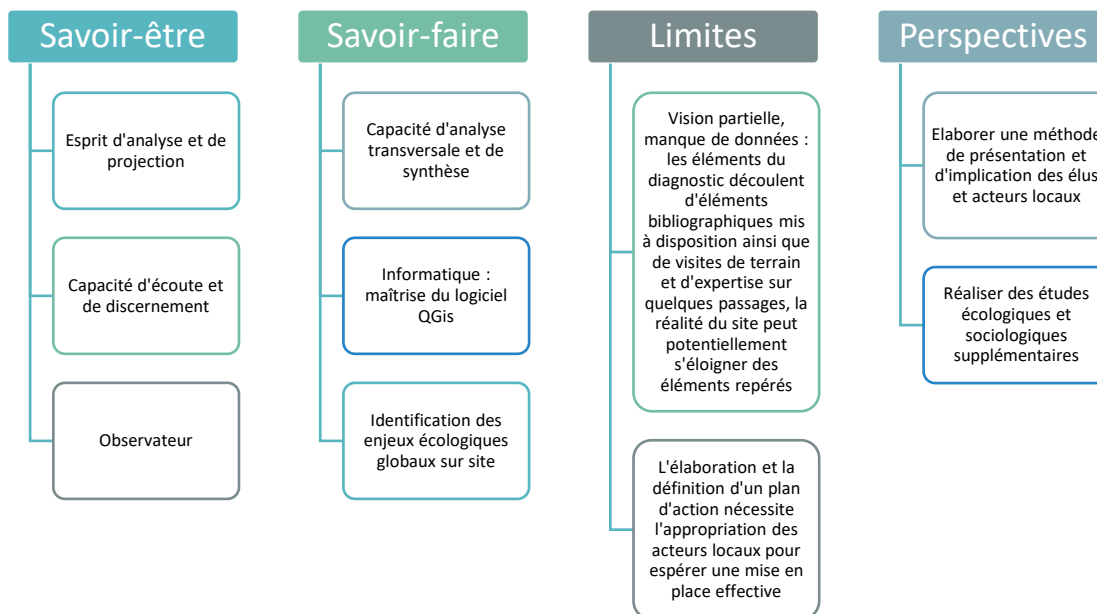


Figure 4 : Schéma de l'ébauche des enjeux et objectifs écologiques du plan de gestion du parc de Sermenaz et ses pistes d'action

Note : Les actions peuvent correspondre à plusieurs objectifs et ces derniers peuvent eux-mêmes correspondre à plusieurs enjeux mais ces liens ne sont pas représentés ici pour des questions de lisibilité



4.2. Modélisation de la Trame Verte et Bleue (TVB) via les outils BioDispersal et Graphab

4.2.1. Elaboration de la Charte Environnementale pour la Biodiversité de Caluire-et-Cuire

La commune de Caluire-et-Cuire fait appel à Biotopie afin de se faire accompagner dans l'élaboration de sa Charte Environnementale pour la Biodiversité. La réalisation de la première mission consiste à dresser un diagnostic des grands enjeux écologiques et paysager et de préfigurer des corridors écologiques. La prestation vendue comporte ainsi une modélisation informatique de ces derniers.

4.2.2. BioDispersal et Graphab

BioDispersal est une extension de Qgis permettant de générer des couches raster de coût de déplacement d'espèces inféodées à des milieux naturels. Basé sur une occupation du sol complète, il faut disposer au préalable de données surfaciques couvrant entièrement le territoire à l'étude.

La pondération permet ensuite d'affecter une valeur représentant le coût de déplacement entre deux milieux correspondant à la résistance de franchissement par les individus. Les habitats favorisant les déplacements ont une valeur de résistance faible et les habitats moins perméables aux déplacements ont des valeurs plus fortes. Les valeurs utilisées ont souvent un contraste fort d'un facteur de 10 allant le plus souvent de 1 à 10 000. Si ces valeurs peuvent être choisies globalement pour un cortège, elles peuvent aussi reposer sur des connaissances biologiques plus fines d'une espèce. Enfin, une distance euclidienne ou une distance en coût est renseignée afin de ne représenter que les liens potentiellement utilisables par le cortège ou l'espèce (par exemple l'Agrion de Mercure parcourt souvent moins de 100m durant son stade adulte et il est estimé que sa dispersion n'excède pas quelques kilomètres tandis que la Loutre (*Lutra lutra*) peut parcourir jusqu'à 10km en une seule nuit (Sordello et al., 2013)).

Graphab, à partir de ces couches rasters est ensuite capable de générer les réservoirs théoriques (avec une surface minimale ou non) et les corridors théoriques (avec un coût maximal) pour un milieu ou

une espèce donnée. Les résultats obtenus pour la commune de Caluire-et-Cuire sont présentés ci-dessous :

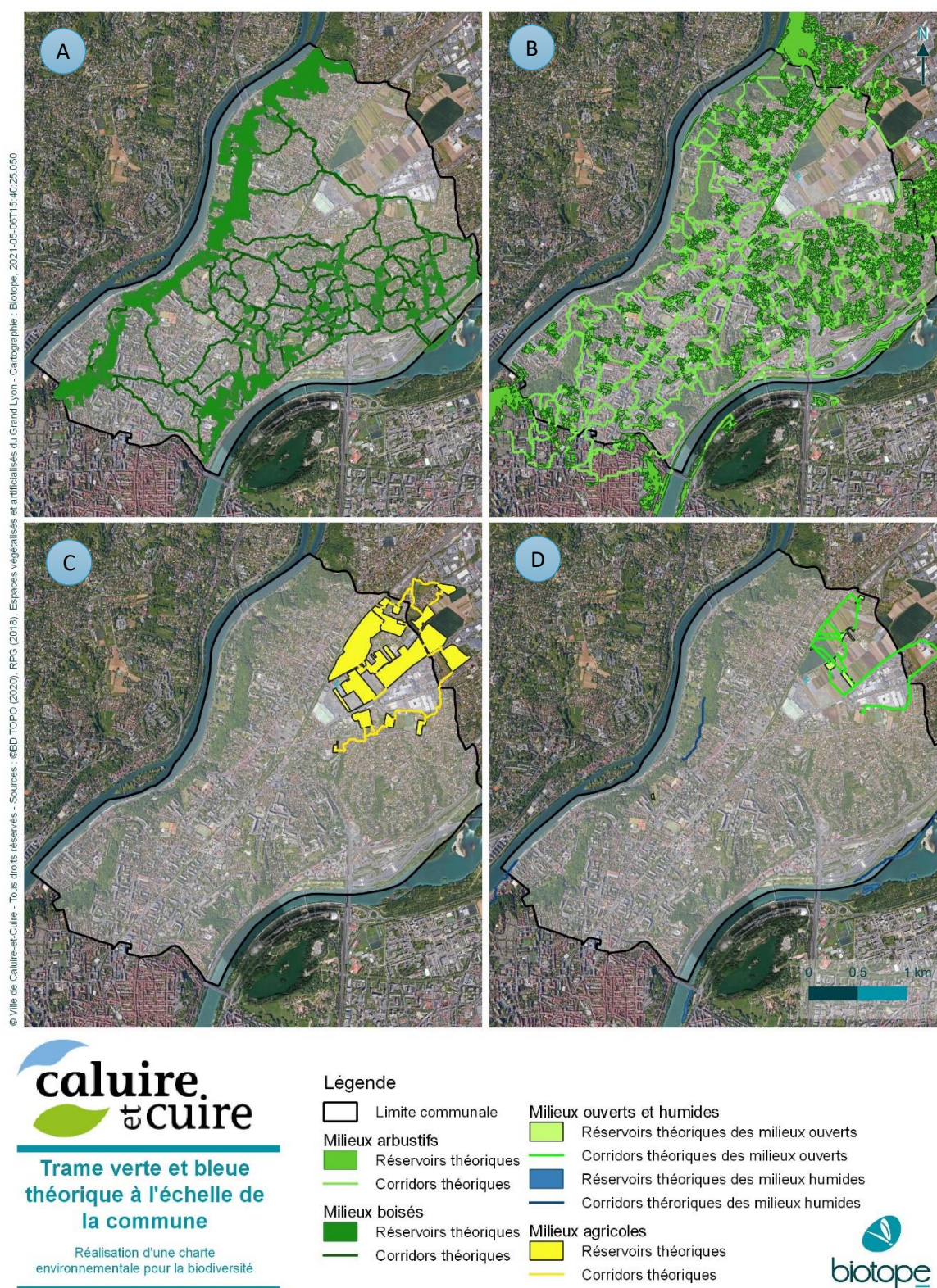
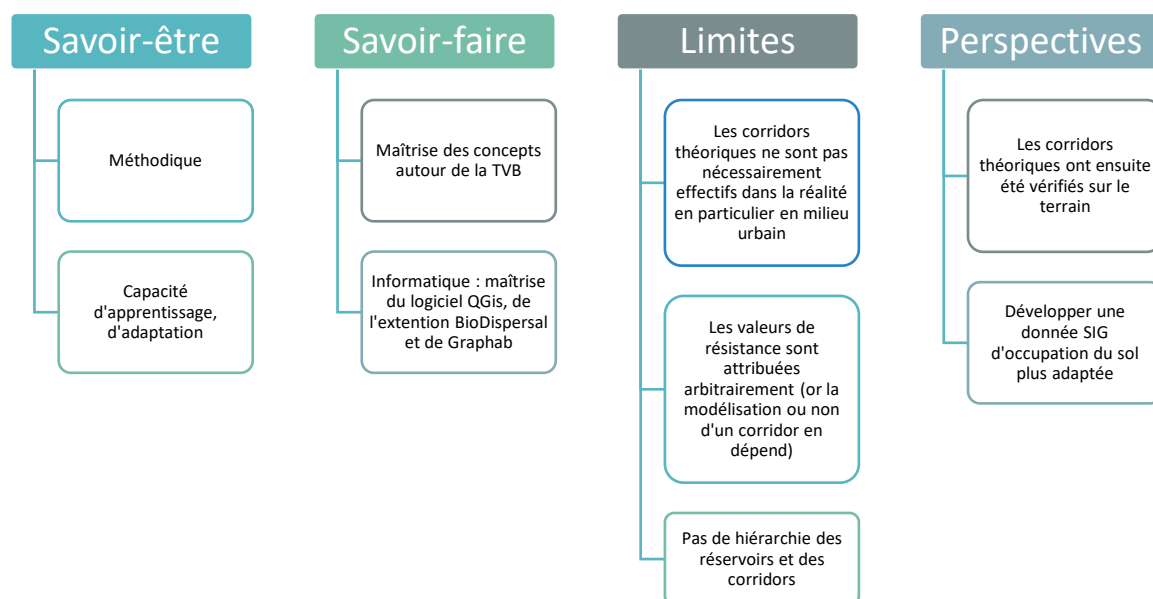


Figure 5 : Cartes des réservoirs et corridors théoriques de la commune de Caluire et Cuire, A : les milieux boisés, B : les milieux arbustifs, C : les milieux agricoles et D : les milieux ouverts et humides regroupés seulement pour des questions de lisibilité



4.3. Statistiques multivariées d'indicateurs environnementaux de territoire

4.3.1. La séquence ERC à l'échelle du département

Le département de la Drôme souhaite travailler sur la question de la compensation environnementale et collective agricole sur son territoire. Biotope s'est proposé d'élaborer une analyse multicritère croisée des enjeux à la fois écologiques, agricoles et des dynamiques d'aménagement des territoires. Pour ce faire, un maillage territorial stockant les indicateurs orientés ERC à l'échelle de la Drôme est réalisé. Des sources de données diverses (SRADDET, inventaires, cartographies, BD TOPO, occupation du sol Théia ...) ont été utilisées et ces indicateurs ont été coconstruits avec les différents partenaires.

La problématique restante était de savoir si, parmi les indicateurs utilisés dans l'étude, les indicateurs écologiques avaient une quelconque corrélation avec les indicateurs agricoles du territoire. La mission traite donc de la réalisation d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin d'apporter une analyse statistique sur cette question.

4.3.2. Données mises à disposition

La classification et la pondération des données a permis de rassembler une base de données d'indicateurs du territoire suffisantes pour établir une ACP sur la possible corrélation linéaire entre les variables correspondant aux enjeux agricoles et les variables correspondant aux enjeux écologiques. Ces indicateurs ont pour but d'établir un niveau d'enjeu pour une maille territoriale et sont les suivants :

- Indicateur 1 : note d'intérêt écologique des milieux
 - Note d'intérêt écologique en fonction de l'occupation du sol (Ind1_Inter_Eco)
 - Prise en compte du maillage de haies (Ind1_Note_haie)
 - Prise en compte de la diversité des cultures à la maille (Ind1_Note_DivA)
- Indicateur 2 : prise en compte du SRADDET (Not_Eco_2)
 - Les réservoirs de biodiversité terrestres (Ind2_NOTE_RESBI)
 - Cours d'eau d'intérêt écologique reconnu (Ind2_NOT_C_EAU)

- Les espaces perméables liés aux milieux terrestres (Ind2_NOT_ESP_T)
- Les espaces perméables liés aux milieux aquatiques (Ind2_NOT_ESP_A)
- Indicateur 3 : prise en compte des milieux d'intérêt particulier
 - Les zones humides (Ind3_Note_ZH)
 - Les pelouses sèches (Ind3_Note_PS)
 - Les ripisylves (Ind3_Note_ripis)
 - Une fonction écologique / biologique
- Indicateur 4 : prise en compte de la répartition des espèces sur le territoire (diversité spécifique, présence d'espèces patrimoniales) (Ind4_v2_Note_Ind4)

Pour chaque indicateur, les données sont des réels compris entre 1 et 5 et une valeur correspond à une note pour une maille du territoire pour un indicateur donné. « 1 » représente une note associée très faible (dont l'unité varie selon l'indicateur) et « 5 », une note associée très forte au niveau de l'intérêt écologique.

4.3.2.1. Résultats et conclusion sur la corrélation des enjeux agricoles et écologiques

Grâce au logiciel R et au package FactoMineR, on réalise un cercle de corrélation des différentes variables selon les deux dimensions principales :

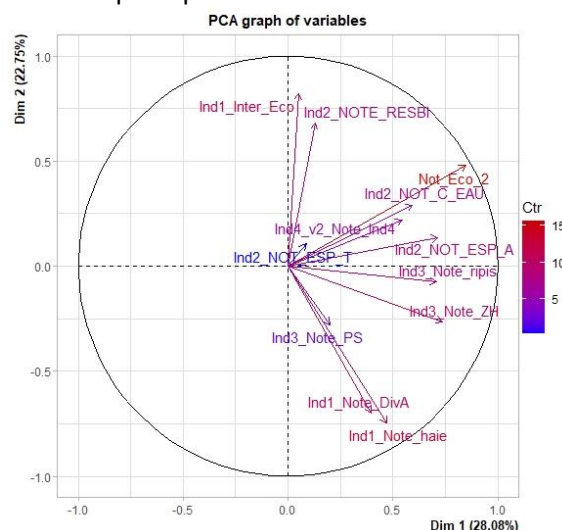


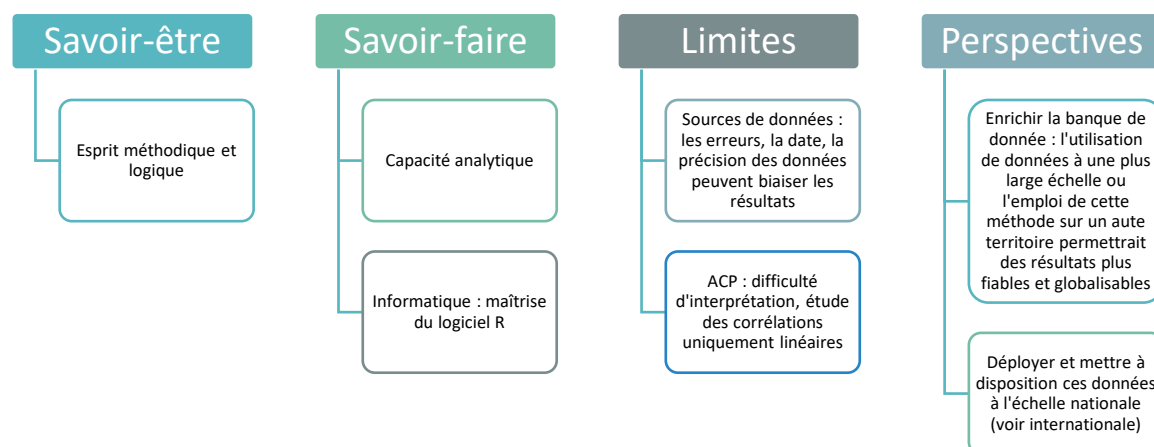
Figure 6 : Cercle de corrélation des notes des indicateurs écologiques et agricoles de la Drôme

	Not_Eco_2	Ind1_Inter_Eco	Ind1_Note_haie	Ind1_Note_DivA	Ind2_NOTE_RESBI	Ind2_NOT_ESP_T
Not_Eco_2	1.00	0.51	0.08	0.07	0.44	0.20
Ind1_Inter_Eco	0.51	1.00	-0.54	-0.39	0.38	0.40
Ind1_Note_haie	0.08	-0.54	1.00	0.70	-0.38	0.00
Ind1_Note_DivA	0.07	-0.39	0.70	1.00	-0.37	0.08
Ind2_NOTE_RESBI	0.44	0.38	-0.38	-0.37	1.00	-0.33
Ind2_NOT_ESP_T	0.20	0.40	0.00	0.08	-0.33	1.00
Ind2_NOT_ESP_A	0.61	0.17	0.20	0.14	0.03	0.21
Ind2_NOT_C_EAU	0.59	0.24	0.05	0.03	0.08	0.13
Ind3_Note_PS	0.16	-0.11	0.28	0.28	-0.07	0.09
Ind3_Note_ZH	0.44	-0.22	0.44	0.36	-0.05	-0.08
Ind3_Note_ripis	0.50	-0.12	0.28	0.22	0.04	-0.11
Ind4_v2_Note_Ind4	0.64	0.03	0.18	0.05	0.40	-0.16
	Ind2_NOT_ESP_A	Ind2_NOT_C_EAU	Ind3_Note_PS	Ind3_Note_ZH	Ind3_Note_ripis	Ind4_v2_Note_Ind4
Not_Eco_2	0.61	0.59	0.16	0.44	0.50	0.64
Ind1_Inter_Eco	0.17	0.24	-0.11	-0.22	-0.12	0.03
Ind1_Note_haie	0.20	0.05	0.28	0.44	0.28	0.18
Ind1_Note_DivA	0.14	0.03	0.28	0.36	0.22	0.05
Ind2_NOTE_RESBI	0.03	0.08	-0.07	-0.05	0.04	0.40
Ind2_NOT_ESP_T	0.21	0.13	0.09	-0.08	-0.11	-0.16
Ind2_NOT_ESP_A	1.00	0.44	0.02	0.51	0.39	0.17
Ind2_NOT_C_EAU	0.44	1.00	-0.06	0.25	0.38	0.15
Ind3_Note_PS	0.02	-0.06	1.00	0.09	0.02	0.07
Ind3_Note_ZH	0.51	0.25	0.09	1.00	0.54	0.26
Ind3_Note_ripis	0.39	0.38	0.02	0.54	1.00	0.27
Ind4_v2_Note_Ind4	0.17	0.15	0.07	0.26	0.27	1.00

Figure 7 : Tableau de corrélation entre chaque indicateur écologique ou agricole de la Drôme

La corrélation de chaque indicateur avec un autre est renseigné dans le tableau de corrélation (Figure 7) cette valeur est comprise entre -1 et 1 selon si les variables sont fortement, moyennement ou faiblement corrélées négativement ou positivement. Par exemple, l'indicateur global de prise en compte du SRADDET est faiblement et positivement corrélé (0,64) à la prise en compte de la répartition des espèces sur le territoire.

D'après les résultats précédents (Figure 6 & Figure 7), aucun indicateur ne semble être fortement corrélé à un autre et aucune tendance globale ne semble relier une catégorie d'indicateurs à une autre. On peut donc en conclure que les analyses ne permettent pas de mettre en lumière des liens évidents entre les indicateurs écologiques et qu'ils sont indépendants.



4.4. Campagne de déplacement de crapauds calamites

4.4.1. Description de l'espèce et du contexte localisé



Figure 8 : Crapaud calamite (*Epidalea calamita*)
(Source : photographie personnelle)

Le Crapaud calamite (*Epidalea calamita*) est un amphibien indigène, espèce pionnière des milieux dénudés et minéralisés. Il utilise des mares, mouillères temporaires mais aussi des fossés et ornières lorsqu'ils sont mis en eau pour sa reproduction. C'est ainsi qu'on le retrouve présent sur une friche industrielle de l'agglomération lyonnaise, sur lequel un client de Biotopie souhaite réaliser son projet d'aménagement.

Or, cette espèce bénéficie d'une protection complète des individus comme de ses habitats. Classée en préoccupation mineure (LC) à la liste rouge des amphibiens de France métropolitaine mais comme espèce quasi-menacée (NT) sur la Liste Rouge des Amphibiens de Rhône-Alpes, il existe un enjeu écologique moyen à fort pour ces populations, d'autant plus qu'une cinquantaine d'individus chanteurs ont été entendus sur le site d'étude dans tous les points d'eau qui y

sont répartis et que l'espèce y réalise l'intégralité de son cycle biologique : reproduction dans les mares temporaires et habitat terrestre dans le substrat remanié de la friche industrielle. Par conséquent, Biotopie a réalisé dans le cadre d'une prestation avec le client un dossier de demande de dérogation d'espèces protégées afin que le promoteur puisse réaliser son projet. Dans l'étude d'impact, figure également un certain nombre de mesures de réduction (MR), d'accompagnement (MA) et de compensation (MC) en faveur directe de ces populations :

- MR1 : Adaptation du calendrier des travaux vis-à-vis des enjeux écologiques
- MR7 : Capture et déplacement des amphibiens et reptiles
- MA2 : Création d'un passage à amphibiens reliant le site aux bassins de rétention adjacent (crapauduc)
- MA3 : Création d'hibernaculums et d'abris petite faune sur site (sur un terrain adjacent au site construit)
- MA4 : Création d'un réseau de mares in-situ (sur un terrain adjacent au site construit)
- MC1 : Création d'un réseau de mares et de zones humides sur le site de compensation (sur un terrain situé à 15 km du site construit)
- MC3 : Création d'habitats terrestres artificiels (hibernaculums) et d'abris petite faune sur le site de compensation (sur un terrain situé à 15 km du site construit)

Le Crapaud calamite peut se déplacer sur une grande distance assurant ainsi un brassage génétique métapopulationnel important pour la pérennité des populations. Il est estimé que 50% des adultes restent dans un rayon de 5 km mais que 5% peut migrer jusqu'à 12 km (Miaud, 2013). Cependant, désormais enclavé par des espaces urbanisés et potentiellement menacé par la poursuite des travaux du site, une autre campagne de déplacement a été réalisée en mai 2021 détaillée ci-après.

4.4.1.1. Matériel et méthode

Afin d'effectuer le déplacement de pontes, têtards et individus de Crapaud calamite, le matériel suivant est utilisé :

- Seaux avec couvercles percés
- Petits récipients de transfert dans les seaux de type « Tupperware »
- Gants
- Bottes
- Lampes torches / frontales
- Véhicule de déplacement

Les individus délicatement prélevés dans le périmètre du projet sont mis dans les seaux et déplacés dans les mares compensatoires.

4.4.1.2. Campagne de déplacement

Les conditions météorologiques ayant été défavorables lors du premier déplacement, aucun individu n'a pu être déplacé. Lors de la deuxième intervention, plus d'une vingtaine de pontes et 2 individus adultes ont été remis dans les mares en eau de la parcelle compensatoire. Enfin, lors de la troisième intervention, environ 200 têtards et 5 individus ont pu être déplacés.

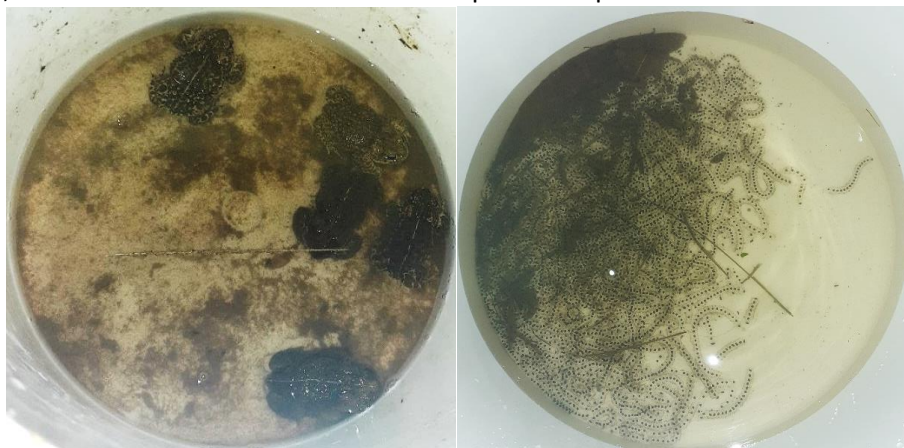
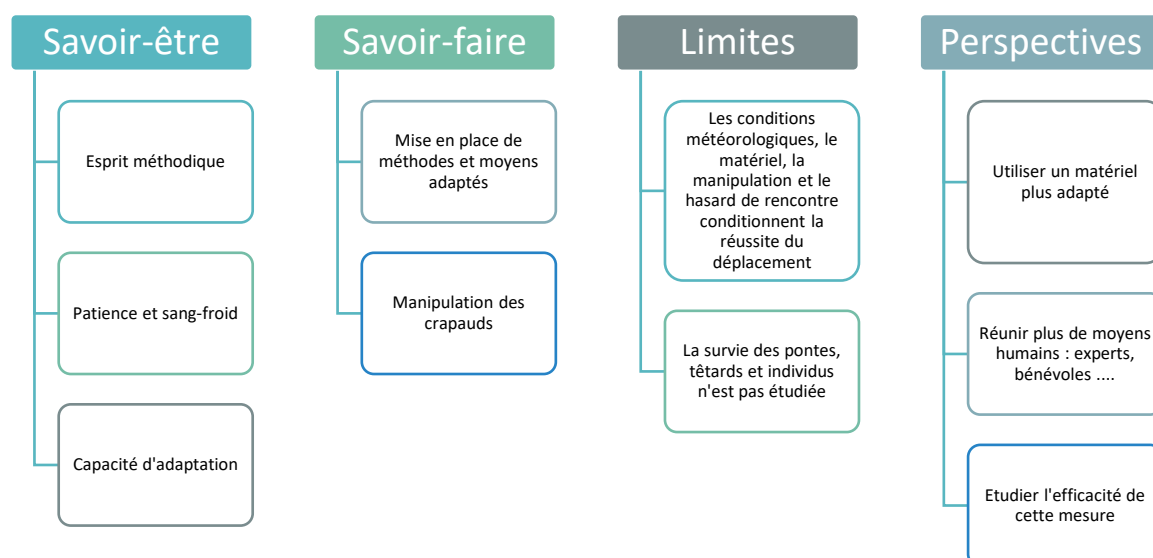


Figure 9 : Crapauds calamites adultes (à gauche) et pontes (à droite) dans les seaux pour déplacement (Source : photographies personnelles)



5. Mission principale : synthèse bibliographique des effets des mesures agroécologiques sur la biodiversité

5.1. La commande

Emis par l'OFB selon les conditions du Code de la Commande Publique, le marché a pour objectif une prestation d'études sur l'efficacité pour la préservation de la biodiversité des mesures agroécologiques mises en œuvre dans les territoires agricoles.

Le cahier des charges de l'appel d'offre regroupe les mesures agroécologiques comme suit :

- **Modification des pratiques culturales** : retard de fauche (prairies ou bords de champs) ; rotation des cultures ; cultures associées ; diminution de la taille des parcelles ; réduction des traitements aux produits phytopharmaceutiques ; mise en place de lutte biologique,
- **Modification des systèmes agricoles** : diversification des assolements à l'échelle de l'exploitation et du territoire ; conversion à l'agriculture biologique ; conversion de cultures en prairie ; pâturage des intercultures ; mise en place d'agroforesterie ; adaptation des pratiques pastorales (chargement de parcours, date de pâturage, taille des parcelles...)
- **Couverture et conservation du sol** : protection/pérennisation des prairies permanentes, couverture permanente des sols agricoles, réduction du travail du sol, mise en place de paillage végétal
- **Implantation/entretien d'infrastructures agroécologiques** : plantation de haies, restauration des bords de champs, implantation de prairie mellifères ou faune sauvage, entretien/restauration de ripisylves, bosquets, mares, ou autres types d'infrastructures naturelles

Pour chacune d'entre-elles, il est souhaité une synthèse des informations existantes sur leurs plus-values écologiques (étape développée dans ce rapport), puis une formalisation d'une typologie de mesure au regard des résultats de l'analyse bibliographique et premiers retours d'expérience. La seconde étape consistera à analyser l'éligibilité de certaines de ces mesures au titre de la compensation des atteintes à la biodiversité et de définir 5 mesures prioritaires qui feront l'objet d'une fiche technique précisant ses modalités de mise en œuvre, tant sur le volet d'ingénierie écologique que sur son intégration au sein de l'itinéraire technique d'un exploitant.

Afin de répondre à cette demande, Biotope s’est associé au Centre de Développement de l’Agroécologie qui apportera également son expertise. Biotope bénéficie également de l’appui de chercheurs. De plus, les publications scientifiques permettant de quantifier la plus-value écologique étant restreinte, il a été souhaité, pour la première étape, qu’elle s’appuie sur des retours d’expériences de programmes ou de diverses structures dont les chambres d’agriculture, les collectivités territoriales, les Parcs Naturels Régionaux, de l’OFB ainsi que les acteurs des programmes BiodiversID, Des Terres et des ailes etc. Gérée par les chefs de projets de la mission, cette partie ne sera pas traitée dans ce rapport.

5.2. Matériel et méthode

Pour la récolte, synthèse et analyse de données bibliographiques l’outil de recherche Google Scholar est utilisé en associant les termes désignant la MAE avec l’expression « effet sur la biodiversité » en français et en anglais. Sont ensuite retenues les publications pertinentes employant un indicateur scientifique mesurable (indicateur « SMART ») des effets d’une mesure sur la biodiversité et sont parfois exclues les publications traitant d’un système agricole non-employé en France ou sous des conditions pédoclimatiques trop éloignées pour pouvoir globaliser ses résultats et les publications à une date antérieure à l’an 2000.

Après un premier relevé de la bibliographie obtenue, les mots clés désignant la mesure sont parfois ajustés et les taxons complètement absents des résultats sont également couplés au nom de la mesure dans la recherche.

5.3. Résultats

Le tableau suivant résume les mesures traitées et le nombres de publications correspondantes utilisées dont le nombre de méta-analyses :

Type de mesure	Mesure	Nombre de publications traitées*	Dont méta-analyse
Modifications des pratiques culturales	Cultures associées	6	1
	Réduction des traitements aux produits phytopharmaceutiques	10	2
Modifications des systèmes agricoles	Conversion à l’agriculture biologique	9	2
	Mise en place d’agroforesterie	6	4
Couverture et conservation du sol	Mise en place de paillage végétal	8	2

*Ne sont comptées que les publications ayant permis d’évaluer une plus-value écologique

Ci-après la synthèse des résultats principaux pour ces mesures dont la bibliographie est rangée par type de mesure (p.31 à 34) . Il est à noter que ces résultats sont intermédiaires et qu’ils sont amenés à être complétés ou modifiés durant la réalisation de la fin du stage et par la suite par les chefs de projet responsables du rendu.

5.3.1. Cultures associées

5.3.1.1. Définition, description du concept de la mesure

La culture associée est une pratique agricole qui consiste à planter dans une parcelle au moins deux espèces pendant une période significative de leur croissance. Cette pratique vise à « mettre en œuvre des mécanismes d'interactions positives entre les espèces afin d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles » (Justes et al., 2014). Ainsi, cette pratique permet notamment une résistance plus durable des cultures face aux maladies en diversifiant les résistances variétales (De Vallavieille-Pope et al., 2006)

La culture associée est utilisée pour produire des graines (ex: blé-pois ou triticale-féverole) ou du fourrage (ex: mélange fourrager de vesce-avoine) et dans certains cas une seule des espèces est récoltée (le colza dans une association avec une légumineuse gélive ou le maïs semé sous couvert de sainfoin). Enfin les cultures associées peuvent être utilisées pour la production de services comme dans le cas de cultures intermédiaires plurispécifiques pour remplir des fonctions cumulées d'engrais vert et de piège à nitrates (Bedoussac et Journet, 2017).

Cependant, la culture associée est inégalement pratiquée dans le monde. Ainsi, en Amérique du Nord et en Europe le faible taux de réalisation de cette pratique se reflète dans le peu d'études menées dans ces zones (Curtright et Tiemann, 2021).

5.3.1.2. Effet sur la biodiversité connue

Les plantes cultivées peuvent avoir un bénéfice sur les bactéries rhizosphériques dont la structure et la diversité de la communauté est spécifique à l'espèce de plante. Ainsi, l'association de cultures peut engendrer des modifications dans les communautés microbiennes. Cela n'a pas toujours de conséquence sur les processus en jeu puisqu'il existe une grande redondance fonctionnelle chez les bactéries mais une étude a démontré que les associations de maïs et féverole ou de maïs et blé ont des effets positifs sur des communautés de bactéries ayant des fonctions clés (Bertrand et al., 2019). Le travail du sol par les microorganismes augmente avec cette mesure, d'autant plus qu'elle augmente le potentiel enzymatique de 13% en moyenne (Curtright et Tiemann, 2021). Concernant la mycorhization, une étude en pot de l'association du blé et du pois a démontré que leur couplage diminue la mycorhization chez le pois (PerfCom – ANR, 2012).

Grâce à la « dilution » des plantes, les associations de cultures permettent de réduire les populations de pucerons en augmentant la distance moyenne à parcourir entre deux plantes hôtes en considérant que la seconde ou les autres cultures fassent barrière (PerfCom – ANR, 2012). Plutôt qu'avoir un réel impact sur l'abondance des arthropodes, la diversité des cultures impacte plus leur diversité (Brandmeier et al., 2021). Selon les essences introduites, différentes espèces peuvent être attirées. Une étude en Floride sur l'introduction de rangs de tournesols dans les cultures légumières démontre que ces derniers attirent les insectes auxiliaires dont des arthropodes prédateurs, une trentaine d'espèces pollinisatrices et des guêpes parasites (Jones et Gillett, 2005). Cependant, leur abondance augmente principalement au niveau des rangs de tournesols et des cultures adjacentes mais diminue significativement à une distance de 10 m (Jones et Gillett, 2005). Tout de même, une étude allemande sur des parcelles expérimentales de blé-féverole montre que le nombre de pollinisateurs a quasiment doublé par rapport à une parcelle équivalente en monoculture (Brandmeier et al., 2021).

L'association de cultures aurait également des effets bénéfiques sur l'activité des oiseaux indigènes (Williams et al., 2012).

En ce qui concerne les adventices, l'étude des associations de blé dur-pois d'hiver, et blé-féverole permet de démontrer que la biomasse d'adventices en association est réduite par rapport aux cultures monospécifiques de légumineuses mais pas par rapport aux cultures pures de céréales. C'est donc le blé qui détermine l'abondance des adventices retrouvées. Cependant, l'association est globalement connue pour réduire l'invasion d'adventices en réduisant notamment la disponibilité en lumière, en eau et en éléments minéraux (PerfCom-ANR, 2012).

5.3.1.3. Eclairage socio-économique

Plusieurs études expérimentales agronomiques ont démontré que l'association de cultures, en particulier le mélange de graminées et de légumineuses, offre un meilleur rendement global ainsi qu'une amélioration significative de la teneur en protéines de la céréale (Magrini, Triboulet et Bedoussac, 2013). Ainsi, même si un semis de blé en culture associée représente 50% de celui en monoculture, la différence finale de rendement entre ces deux systèmes est faible dans l'étude de Brandmeier et al. (2021). Une étude sur les cultures associées en agriculture bas intrants dans le sud de la France conclut que les rendements des associations sont systématiquement supérieurs ou égaux aux rendements moyens des monocultures dans les 3 types de mélanges étudiés (blé dur-pois d'hiver, blé dur-féverole d'hiver, blé tendre-pois d'hiver) (PerfCom-ANR). Globalement, les sols sont plus fertiles et les différentes cultures permettent la régulation des maladies et des ravageurs sauvegardant ainsi les revenus des exploitants (Williams et al., 2012). Il arrive toutefois que l'abondance de quelques ravageurs soit plus importante mais cela n'a pas d'effet sur le rendement (Brandmeier et al., 2021).

La pratique permet également globalement de réduire les coûts imputables aux fongicides (De Vallavieille-Pope et al., 2006) et autres produits phytopharmaceutiques.

Cependant, cette pratique pose problème au niveau des collectes sur les plans logistiques et organisationnels ainsi que sur le coût d'usage des machines adaptées (par exemple les trieurs densimétriques) (Magrini, Triboulet et Bedoussac, 2013). Ainsi, les agriculteurs citent comme frein de développement de la pratique la différence des dates et techniques de semis et dates optimales de récolte pour certaines variétés associées, une intervention de désherbage compliquée, un réglage difficile des moissonneuses, une imprédictibilité des compositions des mélanges récoltés, une valorisation plus difficile et une nécessité de tri ou de transformation directement sur la ferme. Ils soulignent également une politique de soutien qui reste pénalisante au niveau de la PAC. Or, les cultures associées ont un intérêt économique à condition d'être aidées et triées correctement (PerfCom – ANR).

Le projet PerfCom financé par le Programme Systerra de l'Agence Nationale de la Recherche a permis de mettre en évidence une plus forte teneur en protéines du blé cultivé en association que ce soit les couples blé dur-féverole, blé dur-pois ou blé tendre-pois. Cette augmentation est d'autant plus forte en association que sa teneur en monoculture est basse ce qui induit que l'association possède moins d'intérêts sur ce point si la variété possède déjà une teneur en protéines élevée en condition de culture « pure ».

5.3.2. Réduction des traitements aux produits phytopharmaceutiques

5.3.2.1. Définition, description du concept de la mesure

Le règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil définit les produits phytopharmaceutiques comme :

« Produits [...] composés de substances actives, phytoprotecteurs ou synergistes, ou en contenant, et destinés à l'un des usages suivants :

- a) Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci, sauf si ces produits sont censés être utilisés principalement pour des raisons d'hygiène plutôt que pour la protection des végétaux ou des produits végétaux ;
- b) Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, telles les substances, autres que les substances nutritives, exerçant une action sur leur croissance ;
- c) Assurer la conservation des produits végétaux, pour autant que ces substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions communautaires particulières concernant les agents conservateurs ;
- d) Détruire les végétaux ou les parties de végétaux indésirables, à l'exception des algues à moins que les produits ne soient appliqués sur le sol ou l'eau pour protéger les végétaux ;
- e) Freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux, à l'exception des algues à moins que les produits ne soient appliqués sur le sol ou l'eau pour protéger les végétaux. »

Suite au développement de la chimie minérale et organique à la fin du XIX^{ème} siècle et début du XX^{ème} siècle, la consommation de pesticides a doublé tous les dix ans entre 1945 et 1985. Cependant, avec l'intensification et la démocratisation de l'emploi des produits phytopharmaceutiques, les effets délétères de ceux-ci sur la biodiversité sont mis en avant et les premières restrictions apparaissent durant les années soixante-dix (Emmanuel Bajard, 2016).

Néanmoins, les quantités de produits phytopharmaceutiques livrées en France poursuivent globalement leur augmentation. Ainsi, la moyenne des quantités de substances actives vendues a augmenté de 22% entre les périodes 2009-2010-2011 et 2016-2017-2018 (BNV-D, 2019). En 2018, la quantité totale vendue s'élève à 85 900 tonnes.

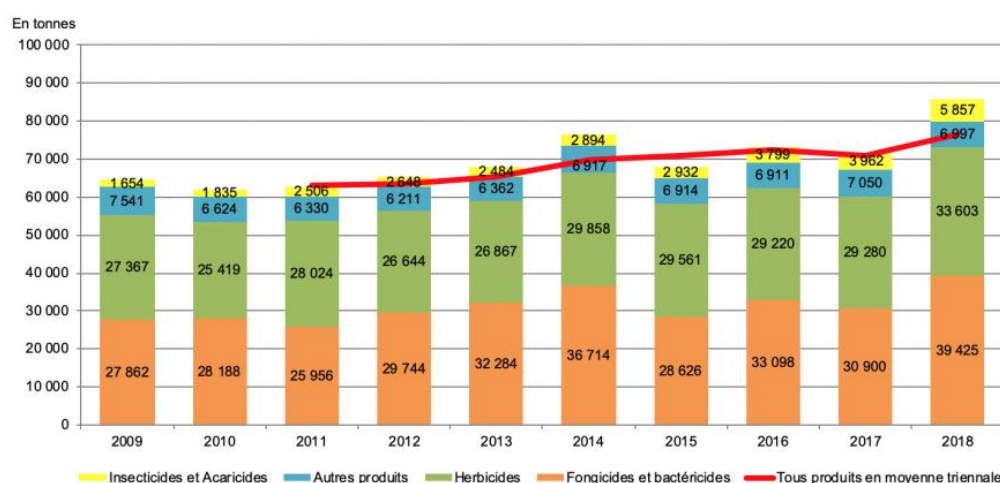


Figure 10 : Evolution des ventes de substances actives par type d'usage en France (source : BNV-D, données sur les ventes au code commune Insee des distributeurs, extraites le 22 novembre 2019)

Note 1 : autres produits = nématicides, rodenticides, médiateurs chimiques, molluscicides, régulateurs, répulsifs, taupicides et autres. Les traitements de semences n'ont été intégrés à la BNV-D qu'à partir de 2012 et représentent moins de 1 % des substances actives vendues en 2018.

Note 2 : la moyenne triennale permet de lisser les effets climatiques et de stockage dans les exploitations.

Or, de nombreuses études prouvent la nocivité de ces substances phytopharmaceutiques et une partie non-négligeable de la biodiversité gagnerait à sa réduction sans compter les autres dommages qu'ils peuvent engendrer (pollution, atteinte à la santé, ...).

5.3.2.2. Effet sur la biodiversité connu

Si des études traitent de l'effet de la réduction des produits phytopharmaceutiques, de nombreuses autres mettent en avant la nocivité de ces produits. Les premiers organismes atteints sont les espèces florales dont l'abondance et la biomasse diminue que ce soit au sein de la parcelle ou en bordure (Le Roux et al., 2008).

Au deuxième plan, les plus directement touchés par l'épandage sont les organismes telluriques. Key et al. (2013) démontre que la diversité fonctionnelle des micro-organismes du sol est de 18% inférieure et la diversité spécifique bactérienne de 14% inférieure dans les systèmes à fort apport de produits chimiques comparés aux systèmes à faibles intrants. Les herbicides réduisent notamment l'abondance des nématodes par trois ainsi que leur diversité fonctionnelle (Karimi et al., 2020). Une exception est faite pour les mycorhizes dont les résultats des effets des produits phytosanitaires sont contradictoires même pour l'étude d'un même produit. Les effets dépendent de multiples facteurs, que ce soit le type de produit, le mode d'action, le mode d'application et le dosage ; le comportement physico-chimique de la substance active, le type de sol et les autres microorganismes présents dans le sol (Hage-Ahmed, Rosner et Steinkellner, 2018).

Les études scientifiques montrent globalement une corrélation négative entre l'utilisation de pesticides et l'abondance des abeilles (Dicks et al., 2010 ; Decourtye et al., 2014 ; Billaud et al., 2020) ainsi que l'abondance et la richesse spécifique des carabes (Hedde et al., 2015). L'utilisation de pesticides cause un déclin des populations de pollinisateurs, plus particulièrement lorsque la période d'épandage coïncide avec la période de floraison (Nicholls et al., 2013). De même, la survie et la croissance des amphibiens sont significativement diminués avec l'emploi de pesticides. Des doses non-léthales peuvent induire une période larvaire plus longue, une plus petite taille durant la métamorphose et une augmentation de la susceptibilité à la prédation à cause d'une diminution de la vitesse de nage et de l'endurance. De plus, des impacts indirects sur la croissance peuvent être attribués aux perturbations initiées par ces produits chimiques. Les herbicides peuvent également diminuer la production primaire et par conséquent augmenter la compétition et réduire les taux de croissance. Appliqués plusieurs fois au printemps, période de croissance agricole, les chances d'exposition des amphibiens sont fortes puisqu'ils se reproduisent à cette même période et que les stades embryonnaires et larvaires sont particulièrement sensibles (Baker, Bancroft et Garcia, 2013). De légères modifications dans les pratiques agricoles comme utiliser des alternatives aux produits chimiques, épandre à différents moments et même utiliser moins de produits phytopharmaceutiques chimiques sont des solutions qui peuvent être apportées pour diminuer les impacts sur les communautés d'amphibiens indigènes (Baker, Bancroft et Garcia, 2013).

L'étude d'Auber et al., (2011) sur les effets non-intentionnels des itinéraires de produits phytosanitaires sur des écosystèmes aquatiques en culture conventionnelle et en culture bas intrants montre que ces deux systèmes ont des effets néfastes significatifs sur les communautés d'invertébrés de même amplitude mais décalés dans le temps.

Curieusement, l'abondance et la richesse spécifique globale des oiseaux augmentent avec l'emploi d'herbicides et ces résultats sont proportionnels à la dose appliquée. Il est suggéré que l'utilisation d'herbicides contribue au processus d'homogénéisation biotique en remplaçant les espèces spécialistes par des espèces généralistes, favorisées par ailleurs par l'absence de compétition. Ainsi, les espèces spécialistes (dont on peut citer le Bruant proyer, Bruant jaune) restent sensibles aux herbicides du fait de leur alimentation, et l'augmentation de l'abondance et de la diversité générale s'explique en partie par la meilleure visibilité lors des échantillonnages des espèces généralistes (Chiron et al., 2014).

5.3.2.3. Conditions d'efficacité

Le type de culture et les conditions pédoclimatiques peuvent interférer dans les résultats obtenus. Si la réduction des produits phytopharmaceutiques se révèle globalement bénéfique pour les abeilles, elle induit l'effet inverse dans les vignobles. Une hypothèse serait que les plantes protégées des ravageurs grâce aux pesticides mettraient plus de ressources pour la production de nectar (Billaud et al., 2020).

Les différents produits employés en agriculture n'ont, de plus, pas le même effet pour des espèces différentes même au sein d'un même taxon. Le glyphosate par exemple, s'est révélé nocif pour les souches *F. caledonium* et *F. constrictum* de champignons mycorhiziens, mais il n'a pas eu d'effet sur *F. mosseae* et *C. etunicatum* dans l'étude d'un écosystème prairial (Hage-Ahmed, Rosner et Steinkellner, 2018).

La période d'application des phytopharmaceutiques est également importante. Pour les abeilles par exemple, s'ils sont employés en dehors de leur période d'activité, elles ne seront donc pas directement exposées et impactées (Dicks et al., 2010). Pour d'autres espèces notamment les arthropodes, la toxicité des produits phytosanitaires (et donc les bienfaits de leur réduction) dépend des paramètres démographiques et du stade de développement de l'individu lors de l'application : « plus le produit est appliqué sur un stade jeune et plus l'espèce a une démographie lente, plus l'insecte est vulnérable et sa population susceptible de disparaître » (Le Roux et al., 2008). C'est le cas également pour les amphibiens comme vu précédemment (Baker, Bancroft et Garcia, 2013).

La combinaison de plusieurs mesures permettrait d'augmenter les bénéfices observés. Ainsi, la réduction de l'usage d'insecticides associée à une diversification des rotations des cultures améliore l'état des populations d'abeilles mellifères (Decourtye et al., 2014). De même, la combinaison de pratiques liées à l'agriculture intensive comme l'application de produits phytopharmaceutiques couplé avec l'application d'engrais minéraux ont des effets premièrement difficilement dissociables et deuxièmement plus délétères pour l'abondance des taxons impactés (Billaud et al., 2020).

Enfin, le remplacement d'un désherbage phytopharmaceutique par un désherbage mécanique ne semble pas changer la diversité microbienne globale et induit même une diminution de la biomasse et de l'abondance des vers de terre (Kamini, 2020). Ainsi, si la réduction des produits phytopharmaceutiques est globalement favorable aux microorganismes du sol, carabes, amphibiens et à la flore son remplacement par d'autres pratiques, même plus « écologiques », peut avoir un impact significatif sur certains taxons et également sur l'organisation socio-économique de l'exploitation.

5.3.2.4. Eclairage socio-économique

La réduction des traitements en produits phytopharmaceutiques implique de trouver une alternative pour pallier aux différents enjeux (ravageurs, mauvaises herbes, croissance de la culture ...) rencontrés dans les exploitations agricoles. Une étude sur les leviers agronomiques et techniques en vue de réduire de 50% l'utilisation de ces produits en grandes cultures et cultures légumières souligne que les performances des parcelles sous cette mesure sont moindres comparées à une utilisation à 100% de phytopharmaceutiques mais qu'elles restent tout de même encourageantes et améliorables en optimisant l'apport d'autres mesures. Sont cités en tant que levier déployé, l'utilisation de produits de biocontrôles, le désherbage mécanique ou manuel, l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes ou encore l'emploi d'auxiliaires des cultures. Ils ont notamment été efficaces pour certaines cultures (blé, betterave, chou-fleur) et moins pour d'autres (pomme de terre, oignon). Mais sur les deux sites expérimentaux, la marge brute (hors aide) a diminué en considérant la réduction du produit brut et les coûts supplémentaires (mécanisation et charges salariales) (Pottiez et al., 2020). Cette étude souligne ainsi la nécessité du couplage de cette mesure avec d'autres mesures agroécologiques et donc une adaptation des pratiques agricoles pas nécessairement facile et pour laquelle les agriculteurs pourraient requérir un accompagnement.

Des chercheurs de d'INRAE en collaboration avec l'entreprise Agrosolutions, ont étudié la relation entre le niveau d'usage des pesticides et les performances des systèmes de culture en termes de productivité et de rentabilité et estiment qu'en France, la baisse moyenne d'usage des pesticides n'engendrant ni gain ni baisse de rentabilité pourrait atteindre 30%, compte tenu des fermes qui ne pourraient changer leur système sans perdre en rentabilité. Selon ce même scénario, les fermes qui changeraient de pratiques baisseraient en moyenne l'usage d'herbicides de 37%, l'usage de fongicides de 47% et l'usage d'insecticides de 60% (Lechenet et al., 2017).

5.3.3. Conversion à l'agriculture biologique

5.3.3.1. Définition, description du concept de la mesure

L'agriculture biologique est définie selon le site du ministère de l'agriculture et de l'alimentation comme un mode de production « qui a recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels ».

La réglementation européenne de l'agriculture biologique définit ses grands principes :

- Une utilisation « d'organismes vivants et des méthodes de productions mécaniques »
- Une production culturale et animale « liée au sol »
- L'exclusion d'utilisation d'OGM
- La restriction d'utilisation d'intrants extérieurs
- La « limitation stricte de l'utilisation d'intrants chimiques »

En France, le cahier des charges du label bio répond au même cahier des charges que le label européen depuis 2010 et est désormais facultatif sur les produits.

En 2019, l'Agence Bio estime la surface agricole en bio à 8,5% sur le territoire métropolitain soit le double de la surface observée 5 ans auparavant. La France se place donc en deuxième position au sein de l'Union européenne que ce soit en termes de pourcentages d'exploitations bio ou de SAU bio de l'UE.

5.3.3.2. Effet sur la biodiversité connu

De nombreuses études scientifiques démontrent un effet positif de l'agriculture biologique sur plusieurs taxons. Tout d'abord, l'abondance, la richesse spécifique, la longueur (taille) et la rareté des espèces d'adventices sont plus importantes que ce soit au sein des parcelles biologiques ou en bordure de champ (Hole et al., 2005). Par conséquent, les cultures rencontrent globalement une pression plus forte de cette flore même si celle-ci ne semble pas s'accroître au cours du temps (Honegger et al., 2014).

En ce qui concerne les microorganismes du sol, et plus particulièrement les mycorhizes, non seulement leur densité et leur activité se montrent plus importantes en bio qu'en agriculture conventionnelle mais les communautés de champignons mycorhiziens arbusculaires sont également significativement plus semblables aux assemblages des prairies. De plus, leur richesse spécifique augmente avec le temps depuis la conversion ce qui est encourageant pour permettre un retour à l'état naturel des mycorhizes même après plusieurs années d'agriculture conventionnelle (Verbruggen et al., 2010). Mäder et al. (2002), démontrent aussi une plus importante longueur racinaire colonisée. L'abondance et l'activité est accrue pour les bactéries et nématodes également (Hole et al., 2005) ainsi que leur diversité fonctionnelle (Key et al., 2013). Globalement, les organismes du sol ont une diversité génétique plus forte. Ces résultats sont probablement liés aux paramètres biochimiques du sol. Une étude réalisée sur une gamme de types de sol différents en Caroline du Nord aux Etats-Unis a ainsi révélé une concentration en carbone et en azote dans le sol respectivement 22% et 30% plus élevée

(Key et al., 2013). Cela est rendu possible grâce à l'utilisation d'intrants biologiques plutôt que chimiques ainsi qu'au travail du sol (Key et al., 2013).

Enfin, pour la faune, l'abondance, la diversité et l'activité sont favorisées pour les vers de terre, les arthropodes et les oiseaux (avec une réussite et une densité du nid plus importante), l'abondance uniquement pour les papillons et araignées et l'activité uniquement pour les mammifères y compris les chiroptères (que ce soit l'activité globale ou l'activité de chasse) (Hole et al., 2005). Ces résultats sont à considérer avec précautions puisqu'ils sont observés pour certaines espèces ou certains taxons, sous des gestions agricoles et cultures identifiées et des conditions pédoclimatiques caractéristiques à l'exploitation. De surcroît, la bibliographie révèle des contradictions ou incohérences entre les études voir des manques pour certains cortèges d'espèces. Ainsi, si de multiples études démontrent une abondance et une richesse spécifique plus importante chez les carabes, presque tout autant d'études ne montrent aucune tendance significative ou un effet négatif de l'AB notamment pour les staphylins. Andersen et Eltun (2000) supposent ainsi que la compétition devient trop importante avec les carabes pour que leur population se développe.

En somme, l'agriculture biologique reste significativement favorable à la diversité et l'abondance de la faune, de la flore et des microorganismes du sol. Ainsi, sur 66 publications rassemblant 63 études sur la richesse spécifique et 117 études sur l'abondance d'un taxon ou d'une espèce, Bengtsson, Ahnström et Weibull (2005) synthétisent leurs résultats à une moyenne de 30% d'augmentation de la richesse spécifique et 50% de l'abondance.

5.3.3.3. Conditions d'efficacité

Il est ainsi probable que certains taxons soient particulièrement favorisés par une pratique spécifique employée en agriculture biologique. Par exemple, pour les organismes du sol, dont les vers de terre, l'utilisation d'intrants organiques ainsi que la prohibition des pesticides sont certainement des facteurs clés à l'amélioration de leurs indicateurs. Quant aux araignées, la taille des parcelles, la végétation de sous étage ainsi que la diversité botanique des bordures de champs entrent en compte dans l'apport d'un microclimat qui leur est favorable et dans la facilitation d'une recolonisation après récolte (Hole et al., 2005). Si l'abondance et la diversité des espèces adventices et de bordures de champ peuvent être influencés par la pratique de l'agriculture biologique, la taille de la parcelle, elle, ne dépend pas du mode de gestion. La diversité de certaines espèces édaphiques est donc plus indirecte que pour d'autres, puisqu'il a été mis en évidence une corrélation positive entre la richesse spécifique des carabes notamment et la richesse spécifique ainsi que le recouvrement de la flore adventice (Hole et al., 2005). Pour les autres arthropodes les résultats diffèrent selon les espèces (voir selon les études) et les facteurs explicatifs sont multiples et complexes. Si la gestion biologique semble favoriser les acariens, formicidés et hétéroptères, les pucerons et leurs prédateurs sont plus abondants en conventionnel supposément grâce à un plus fort apport en biomasse nourricière puisque les cultures sont fortement fertilisées (Hole et al., 2005). En remontant la chaîne trophique, il est donc probable que les résultats positifs sur les indicateurs des prédateurs de la pédofaune comme les oiseaux insectivores et les chiroptères soient liés à la diversité et l'abondance de leurs proies (Hole et al., 2005).

5.3.3.4. Eclairage socio-économique

Un des intérêts principaux de la conversion à l'agriculture biologique est la production d'aliments « sains ». Key et al. (2013) révèle ainsi une production de 8,5% d'antioxydants en plus pour des fraises issues de l'AB, ainsi qu'une meilleure résistance aux maladies.

En ce qui concerne la rentabilité de la conversion à l'agriculture biologique, il faut souvent y dissocier les résultats en termes de rendement uniquement qui sont assez contradictoires selon les sources. Pour Smith, Dicks et Sutherland (2015) et Mäder et al. (2002) le rendement et donc le profit des

exploitants ainsi que la taille des denrées pour Key et al. (2013) sont souvent altérés à l'exception de quelques cultures où l'on observe un effet nul voir positif (Honegger et al., 2014). Smith, Dicks et Sutherland (2015) font quant à eux référence à 6 études dont les résultats sont contradictoires avec des résultats allant d'un effet positif à négatif en passant par des effets mixtes, inexistantes ou incohérents de la conversion au bio sur le rendement des cultures. Une autre source met en avant que les revenus sont moindres si les produits n'obtiennent pas de prime. En effet, la rentabilité ne dépend pas que du rendement final. La note d'analyse de France Stratégie d'août 2020 sur les performances économiques et environnementales de l'agroécologie met en avant que l'AB induit certes une baisse de rendements et un surcroît de main-d'œuvre afin d'assurer un désherbage mécanique (résultat soutenu par la publication de Massis et Hild, 2016) mais ces coûts seraient compensés par des prix des produits vendus moins volatils et plus élevés (Grémillet et Fosse, 2020).

5.3.4. Mise en place d'agroforesterie

5.3.4.1. Définition, description du concept de la mesure

L'agroforesterie est, au sens strict, une pratique associant des cultures avec des arbres plantés dans la même parcelle (Cf. Journal Officiel de la République Française). Mais elle s'applique aussi à d'autres productions agricoles, comme l'élevage, et aux arbres présents en bordure des parcelles (cf. FAO ¹et EURAF²), ou encore à des échelles plus larges que la parcelle (exploitation agricole, territoire) (cf. ICRAF³). Ainsi, au sens large, l'agroforesterie englobe les systèmes de production intégrant aussi bien les arbres dans les pratiques et les espaces agricoles, que les productions agricoles dans les pratiques forestières et les espaces arborés.

Il existe une grande diversité de systèmes agroforestiers. En effet, les combinaisons sont nombreuses entre les pratiques agricoles, les pratiques sur les arbres, les échelles considérées. Parmi toutes les combinaisons, les associations arbres – productions agricoles sont le plus souvent simultanées. C'est le cas des parcelles complantées (grandes cultures sous peupliers ou noyers, prés-vergers), des surfaces sylvopastorales (prés-bois, forêts pâturées), des cultures étagées, des alignements d'arbres, haies et ripisylves en bordure de parcelles agricoles, des bocages... Mais il peut aussi s'agir d'associations dans le temps avec une production agricole et une végétation ligneuse qui se succèdent (cultures sur abattis-brûlis, taillis à courte rotation).

L'agroforesterie permet de diversifier les productions (produits des cultures et/ou de l'élevage et produits des arbres tels que le bois, les fruits, le feuillage) et de bénéficier de synergies (ombrage, fumure, brise vent...) qui améliorent ces productions. Elle requiert une forte technicité pour d'une part favoriser ces synergies et d'autre part éviter ou limiter certains préjudices (compétition entre les cultures et les arbres pour la lumière ou l'eau, contraintes sur la mécanisation à cause des arbres, dégâts du bétail sur les arbres...) qui pourraient réduire les bénéfices recherchés. En favorisant les éléments fixes du paysage et la biodiversité, l'agroforesterie soutient des processus écologiques qui rendent service à l'agriculture.

5.3.4.2. Effet sur la biodiversité connu

De nombreuses études des effets de l'agroforesterie sur la biodiversité concernent des systèmes tropicaux, de plantations agroforestières de bananiers, cacaotiers ou caoutchoutiers (Berthinussen, Richardson et Altringham). Il a été démontré dans ce type de culture que l'agroforesterie participe à

¹ Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (<http://www.fao.org/home/fr/>)

² European Agroforestry Federation (<http://www.europeanagroforestry.eu/>)

³ Centre international pour la recherche en agroforesterie (<https://www.worldagroforestry.org/>)

la diversité des chauve-souris (Berthinussen, Richardson et Altringham) et à l'augmentation de l'activité de prédation des oiseaux sur les arthropodes (Van Bael, 2008) par rapport à l'agriculture conventionnelle. D'autre part, Bhagwat et al. (2008) démontrent qu'en comparaison à des forêts alentours, la richesse spécifique des exploitations agroforestières atteint 60% de la richesse spécifique des habitats semi-naturels alentours et que 25 à 65% des cortèges d'espèces sont similaires. Si l'agroforesterie ne peut atteindre des résultats comparables à des habitats forestiers en termes de biodiversité, elle peut tout de même constituer un corridor pour celle-ci, maintenir l'hétérogénéité d'habitats à l'échelle du paysage et réduire la pression exercée sur les forêts protégées. En effet, l'agroforesterie ne peut abriter des espèces endémiques des milieux forestiers mais pourra abriter des espèces non-forestières, plus généralistes (Smith, Pearce et Wolfe, 2012).

La méta-analyse de Torralba et al. (2016) permet d'un autre côté d'étudier l'agroforesterie en Europe. Si celle-ci a un effet positif significatif global sur la biodiversité les résultats varient en fonction du type de culture, de l'échelle, du taxon, de l'essence forestière et du système de comparaison. Les trois systèmes étudiés (système sylvopastoral, agrisylvicole et mixte) ont tout trois un taux de réponse significatif sur la biodiversité mais dont seul celui du sylvopastoralisme est significatif. Les oiseaux semblent être le taxon le plus favorisé par l'agroforesterie même si les plantes, arthropodes et champignons le sont également. Le taux de réponse reste positif et significatif quel que soit l'échelle d'étude même s'il décroît en suivant l'ordre suivant : de 1 à 1000km², supérieur à 1000km², inférieur à 1km². Sur les douze essences d'arbres étudiées seuls l'olivier, le châtaignier et le cerisier engendrent des taux de réponse positif et significatif, les autres étant pour la plupart neutre. Étonnamment et contrairement aux résultats observés en milieu tropical, l'agroforesterie semble significativement favoriser la biodiversité par rapport à un système forestier. Lorsque le système de comparaison utilisé est agricole ou prairial, ce résultat n'est plus significatif.

Les services écosystémiques rendus par l'agroforesterie sont également importants. La plantation d'arbres permet en effet de contrôler l'érosion et d'augmenter la fertilité du sol en optimisant le cycle des nutriments (Torralba et al. 2016). De plus, un peuplement agroforestier de 100 arbres permet de fixer durablement 400 kg de carbone par hectare grâce aux seules racines (Masson, 2006).

5.3.4.3. Eclairage socio-économique

D'après Coulon et al. (2020), la présence des cultures favorise généralement et grandement la croissance des arbres (peupleraies, noyeraies, feuillus précieux, pré-vergers) avec +80% de diamètre en plus et améliore la qualité du bois produit. Vice versa, les arbres apportent un effet brise-vent significatif augmentant le rendement des cultures intercalaires de 6 à 20% par rapport aux zones exposées au vent. Les cultures d'hiver souffriraient moins de la compétition avec les arbres et pousseraient également ces derniers à s'enraciner plus en profondeur ce qui leur permet de mieux résister aux sécheresses et intempéries et en plus d'être des bons remparts au vent, les arbres ralentissent aussi les crues et réduisent l'érosion (Masson et Dupraz, 2006). Pour les systèmes sylvopastoraux, les arbres permettraient d'augmenter le rendement laitier de 20 à 50% et augmenter le poids moyen des bovins supérieurs ainsi qu'améliorer leur qualité sanitaire via une stabilisation de la température. Enfin, cette même publication estime la rentabilité de l'agro-forêt sur l'agriculture selon les essences et constatent que le pin et le cyprès sont légèrement moins rentables (ratio respectivement de 0,99 et 0,97) tandis que l'aulne (1,01), le poirier (1,09), le cormier (1,17) et le noyer (1,36) donnent des résultats plus rentables (Coulon et al., 2020).

L'espacement choisi est important pour la croissance des arbres. En effet, on peut espérer que la croissance soit meilleure en agroforesterie si l'espacement choisi est suffisant. Toutefois, il est possible qu'un espacement trop important entraîne un stress hydrique de ces arbres en cas de sécheresse (Coulon et al., 2020). Cet espacement doit également être choisi en fonction de la gestion de la récolte de la culture intercalaire. Un espacement des arbres d'environ 25m permet le passage d'une rampe

de pulvérisation, ainsi l'agriculteur n'aurait pas besoin de changer ses habitudes. Toutefois, restera un travail important d'élagage à effectuer (Masson et Dupraz, 2006).

5.3.5. Mise en place de paillage végétal

5.3.5.1. Définition, description du concept de la mesure

Le paillage consiste à recouvrir la surface du sol au pied de cultures avec un matériau organique, minéral ou plastique. Pour un paillage végétal, de nombreux matériaux organiques peuvent être utilisés : feuilles mortes, tontes de pelouse sans graines, déchets secs des végétations, pailles de céréales, Bois Raméal Fragmenté (BRF), broyats ligneux ... (Trabelsi, 2018).

De multiples avantages lui sont reconnus :

- il améliore les conditions physiques, chimiques et l'activité biologique du sol ;
- il aide à maintenir la durabilité et l'équilibre du sol entre l'apport en résidus végétaux et bio-solides et la décomposition, l'érosion et le lessivage du sol ;
- il conserve l'humidité du sol à travers la modification des conditions microclimatiques en augmentant l'infiltration, réduisant l'évaporation et modifiant la capacité de rétention d'eau du sol ;
- il aide à contrôler l'érosion du sol ;
- il augmente la croissance et le rendement des cultures via l'aération autour de la plante, l'agrégation des particules du sol, l'apport de nutriments et la pression physique sur les adventices ;
- il réduit la pression des adventices en leur supprimant l'apport en lumière ;
- il maintient une température optimale du sol ;
- il réduit les pertes par écoulement ;
- il augmente la disponibilité en nutriments (Telkar et al., 2017).

Sont écartés ici les paillages minéraux et plastiques puisque ce dernier notamment a des effets néfastes par exemple sur la pédofaune et l'activité microbienne du sol (Schirmel et al., 2018 ; Hewison, 2012) ainsi que sur l'abondance et la diversité des oiseaux pendant et même après son utilisation (Skórka et al., 2013).

5.3.5.2. Effet sur la biodiversité connu

Le paillage ayant pour objectif de limiter les populations d'adventices, l'abondance et la diversité florale sous paillis végétal sont généralement amoindries par rapport à un sol non géré (Bruggisser, Schmidt-Entling et Bacher, 2010). Cependant, comparé à un sol labouré, cette mesure permet de conserver une densité florale jusqu'à 3 fois plus élevée (Kulagowski, Riggi et Chailleux, 2016) et comparé à un paillis plastique, le paillis végétal maintient une strate herbacée accueillant des auxiliaires de cultures (Hewison, 2018). Cependant, une étude réalisée sur une tourbière au Québec démontre que la paille augmente le nombre d'espèces végétales caractéristiques des marais (5 espèces ont été retrouvées sans paillage et 8 avec) même si leur couverture du sol reste inchangée. En effet, un paillage organique permet de stabiliser la température et l'humidité du sol, créant des conditions propices à l'établissement d'espèces végétales de tourbières (Taylor, Grillas et Sutherland, 2018).

Une expérimentation en Occitanie sur les différents types de paillages a permis de mettre en évidence l'impact positif de l'application de copeaux de bois sur l'abondance de la faune tellurique (avec deux fois plus d'individus échantillonnés par rapport à un sol nu) et dans une moindre mesure sur leur diversité (Hewison, 2012). Ainsi, le paillage augmente par exemple la population de vers de terre

(Niswati et al., 2018). Globalement, le paillage offre un environnement favorable aux arthropodes notamment les arthropodes détritvires (Karimi et al., 2020) ainsi que les Carabidés (Dudás et al., 2016).

Au niveau du sol, le paillage permet une activité globale plus élevée essentielle pour rendre disponible les nutriments pour les plantes en favorisant la croissance de bactéries et inhibant la croissance de champignons pathogènes (Siczek et al., 2018).

S'il a été démontré que le paillage en débris de ligneux apporte un bénéfice aux amphibiens dans les milieux forestiers, Hansen et al. (2018) n'ont pu mettre en évidence aucun effet du paillage sur les populations d'amphibiens dans les parcelles agricoles de blé, orge ou pâturées.

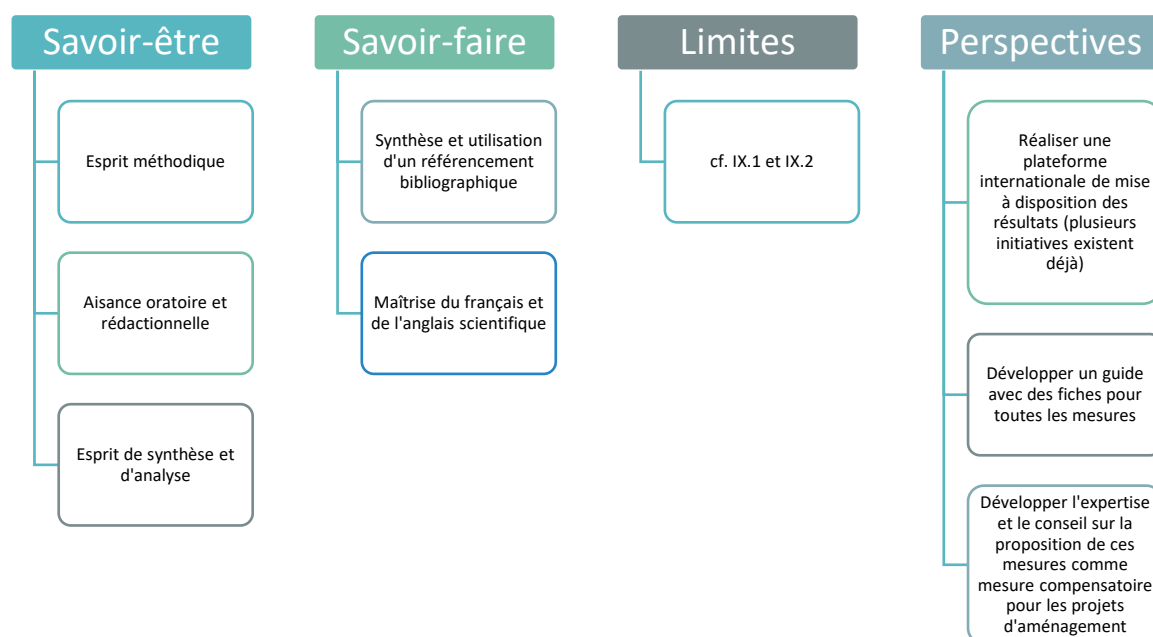
5.3.5.3. Conditions d'efficacité

Les conditions pédoclimatiques et plus particulièrement les conditions physico-chimiques du sol influencent la décomposition des paillis organiques et donc leur efficacité. Ainsi, si le sol est acide, l'activité biologique est plus faible et la minéralisation de la matière organique par les organismes du sol est plus lente. Cela affecte à la fois la biodiversité tellurique ainsi que la croissance de la culture paillée (Hewison et al., 2012). Le type de paillage est également important et les performances diffèrent selon leur composition voire leur méthode d'application.

5.3.5.4. Eclairage socio-économique

L'utilisation de paillage permettrait ainsi de faire des économies en eau et en intrants. Dans un plus large contexte, cette mesure peut permettre la valorisation des déchets verts via des filières locales ou circuits-courts avec l'emploi de branchages d'entretien des haies par exemple (Hewison, 2012). Cependant, pour une mise en place peu coûteuse, le mulch dépend des ressources locales (Karimi et al., 2020) - un retour d'expérience sur un site de compensation suivi par Biotope en région lyonnaise montre un cout de 1400 € de mulch pour 400 m linéaire de haie.

Le paillage végétal a démontré son efficacité en termes de croissance des plantes et de rendement même comparé à d'autres méthodes de paillage (plastique, feutre, dalle). Ainsi, la croissance de la culture augmente dès la deuxième année d'application et devient supérieure aux autres types de paillages dès la cinquième année d'utilisation (Hewison, 2012).



6. Réflexions générales et pistes d'amélioration

6.1. Limites de la synthèse bibliographique

Si la synthèse bibliographique permet de dégager des tendances globales, restent un bon nombre de biais qui entravent la pertinence des résultats obtenus. Tout d'abord, dans les études scientifiques elles-mêmes, la période et la méthode d'échantillonnage, les facteurs environnementaux, le mode de gestion des parcelles ou exploitations étudiées sont autant de facteurs à prendre en compte et qui peuvent modifier les résultats. A la lecture, peuvent ensuite interférer le manque de détails ou d'explicité des publications, les erreurs de traduction ou d'interprétation voire la confusion ou la subjectivité du lecteur. Les méta-analyses constituent une bonne source d'informations rassemblant elles-mêmes de nombreuses publications cependant les erreurs de généralisation et de contextualisation sont plus importantes.

En effet, les études ne concernent parfois qu'une espèce particulière à un moment, un contexte et une localité précise. Il est souvent difficile d'en déduire si les résultats peuvent être généralisés à d'autres espèces ou au cortège entier et à d'autres modes de production ou d'autres localisation. De nombreuses études dans un contexte tropical ont ainsi été écartées puisqu'à la fois, la biodiversité, les systèmes de production et le contexte environnemental diffèrent de ceux observés en France.

Certaines mesures manquent de données bibliographiques disponibles pour pouvoir tirer une conclusion significative. C'est le cas par exemple de la plus-value écologique de la mise en place de lutte biologique ou de culture associée. Selon les mesures et les mots clés utilisés, même si ceux-ci ciblent les plus-values écologiques, de nombreuses publications en résultat de recherche peuvent traiter de l'aspect économique de la mesure en évaluant par exemple les différences de rendement. D'autre part, selon chaque mesure, certains taxons sont plus ou moins étudiés. Enfin, la bibliographie réalisée est non-exhaustive et les résultats mis en avant restent à considérer avec un certain recul.

Il est donc finalement assez rare de trouver une quantification de la plus-value écologique engendrée. La donnée la plus lisible reste souvent le pourcentage de biodiversité gagné grâce à la mesure par rapport à une donnée de référence (par exemple la conversion à l'agriculture biologique permet en

moyenne 30% d'augmentation de la richesse spécifique et 50% de l'abondance de la biodiversité étudiée par Bengtsson, Ahnström et Weibull (2005) (pour les oiseaux, arthropodes, organismes du sol et plantes). Seulement, et c'est souvent le cas dans les méta-analyses, une grande partie des études concluent uniquement sur la significativité de l'effet ou sur la taille de l'effet sans apporter de données chiffrées ou moyennes pour évaluer le bénéfice des mesures en fonction des taxons. Or, dans le cas de l'application de ces mesures en tant que mesures compensatoires, il est nécessaire de pouvoir globalement chiffrer ses plus-values afin de pouvoir effectivement compenser les atteintes à la biodiversité. Dans l'idéal, et sur un pas de temps beaucoup plus important, il aurait supposément été convenable de réaliser une méta-analyse ou du moins une analyse globale des résultats par couplage de taxon/mesure en développant une méthode statistique adaptée. Il aurait cependant fallu obtenir toutes les données (au moins d'abondance et de richesse spécifique) des études scientifiques afin de pouvoir les agréger et obtenir une valeur significative. La différence d'individus ou d'espèces d'un taxon entre deux traitements (soit l'application de la mesure agroécologique ou non) est en effet parfois trop faible à l'échelle d'une seule étude pour pouvoir en tirer un résultat généralisable. Si une espèce n'est pas retrouvée sur la parcelle témoin mais qu'un individu est compté sur la parcelle avec traitement, il serait très probablement erroné de dire que l'abondance de cette espèce double avec l'application de cette mesure. Une compilation de données similaires permettrait une meilleure fiabilité. Ce seraient alors tout de même posées les questions de possibilité de regroupement de données dans des contextes variés, de limite géographique ou contexte pédoclimatique acceptable, de date limite de sources des données ...

6.2. Les limites de la compensation écologique et agricole

A chaque étape du processus de compensation est ajouté un facteur de biais humain reposant sur des « mécanismes d'auto-régulation des acteurs, [...] dans une situation où ces acteurs ne disposent pas de mêmes moyens ». Ainsi, la réalisation d'une compensation efficace repose sur la qualité des inventaires réalisés, le choix de l'aire de compensation, du contrôle des autorités compétentes et des associations et de leurs ressources (Lucas brunet, 2020). La compensation soulève également une question éthique sur un droit à la destruction (Apostolopoulou et Adams, 2017).

D'autre part, une étude utilisant la méthode de l'expérience de choix, menée dans les départements de l'Aisne, de l'Oise et de la Somme apporte une analyse de la disposition des agriculteurs à s'engager dans des contrats de mesures compensatoires afin de déterminer si les conditions de mise en œuvre des mesures compensatoires sont compatibles avec les intérêts des agriculteurs. Une enquête a donc permis de proposer à 5100 agriculteurs (dont 144 réponses exploitables) deux contrats de mesure compensatoire à mettre en place sur ses terres contre rémunération qu'il a la possibilité de décliner. Cette mesure consiste à convertir une terre arable en couvert herbacé et d'assurer une gestion par fauche avec des niveaux différents de cahier des charges selon la fertilisation maximum autorisée, le retard de fauche et la présence d'une zone refuge non fauchée. Une durée d'engagement différente, un bonus monétaire conditionnel correspondant à une surface minimale d'engagement et une rémunération de la mesure en fonction de ces caractéristiques. Sans grande surprise, les répondants préfèrent des contrats avec des contraintes de gestion limitées, de durée courte, avec un bonus conditionnel monétaire et bien rémunérés. Cependant, les exploitants possédant des plus larges surfaces sont plus enclins à accepter des mesures plus contraignantes et les propriétaires sont plus à même de souscrire un contrat, et ce, pour une durée plus longue. Malgré tout, seulement 1% des agriculteurs de l'échantillon trouve que la mise en œuvre de la politique publique de compensation écologique en France est satisfaisante, 37% n'ont pas répondu, 26% pensent qu'elle n'est pas suffisamment claire ni mise en œuvre, 20% la pense trop contraignante et 16% reste sans avis. Parallèlement, il faut souligner que 31% d'entre eux n'ont jamais entendu parler de la compensation écologique Roussel, Tardieu et Vaissière, 2019).

L'étude de Sébastien Roussel, Léa Tardieu et Anne-Charlotte Vaissière conclut par ailleurs qu'il faudrait porter une attention particulière aux contrats de compensations ambitieux et sur le long terme avec des agriculteurs. Au-delà de cela, il est important que les mesures compensatoires reconnaissent le rôle de l'agriculture en maintenant une activité agricole économiquement viable. Certains acteurs agricoles déplorent toujours l'artificialisation des terres en faveur de l'aménagement du territoire, leur accueil fréquent des mesures compensatoires et les conséquences engendrées notamment sur le prix du foncier agricole ou l'accentuation de la déprise de certaines activités déjà en péril (Vaissière et al., 2020).

A l'échelle individuelle il y a aussi de nombreux freins et leviers à la décision de mise en place d'un changement de pratique. Des entretiens semi-directifs réalisés avec des conseillers, techniciens, chercheurs et producteurs agricoles en France soulignent que l'acceptabilité est nourrie par des facteurs de pression sociale, la capacité à rompre des habitudes et la sensibilité propre à l'exploitant. Rentrent en compte également l'histoire personnelle de l'individu par rapport à la nature et la capacité à prendre des risques (Sarah Fernique, 2015).

6.3. La place, le rôle et le devoir du bureau d'études : une position parfois délicate

Les savoir-être et savoir-faire relevés dans ce rapport soulignent la nécessité de la transversalité des capacités à la fois du chef de projet mais également de toute son équipe (chargé de mission, expert de terrain...). L'ancienneté du bureau d'étude Biotope, ses nombreuses filiales et salariés constituent une force afin de proposer des études fiables et variées.

Les bureaux d'études d'impact sur l'environnement adhèrent également à la Charte d'engagement des bureaux d'études dans le domaine de l'évaluation environnementale :

1. Garantir l'indépendance
2. Assurer un devoir de conseil et la confidentialité
3. Travailler en toute transparence
4. Proposer des moyens adaptés
5. Identifier les compétences adaptées
6. Mobiliser des compétences adaptées
7. Disposer d'une capacité en organisation, en gestion de projet et d'un suivi de la qualité
8. Être responsable

Dans l'engagement numéro 5 sont notamment citées les compétences suivantes :

- a. Capacité d'analyse transversale [...] et de synthèse
- b. Capacité d'analyse globale des espaces et des écosystèmes, notamment leurs interactions [...]
- c. Connaissances des différentes thématiques et leurs méthodes d'analyse [...]
- d. Aptitude à communiquer avec des capacités de dialogue technique avec le concepteur du projet [...]
- e. Connaissance des évaluations techniques et économiques des mesures d'évitement, de réduction ou de compensation
- f. Connaissance des thèmes à traiter en fonction du projet et du contexte (liste des thématiques des articles R 122-2 et R 122-5 du code de l'environnement) selon les principes de proportionnalité.
- g. Pratique, pour le thème, des méthodes et moyens adaptés d'observation, investigation de terrain et inventaires, d'analyses ou de modélisation nécessaires dans le traitement et l'interprétation de données et dans l'analyse des incidences d'un projet.
- h. Gestion des systèmes d'information géographique, le cas échéant.
- i. Analyse et connaissance des enjeux territoriaux actuels, et à venir en fonction des connaissances disponibles lors de la réalisation de l'étude, à l'échelle du projet ainsi qu'à celle des grandes politiques publiques (locales, régionales, nationales, européennes).

Il arrive tout de même parfois, malgré la qualité du travail effectué que le client soit en désaccord avec les enjeux identifiés ou les conséquences qui en découlent. Il est donc primordial que le chef de projet arrive à trouver un compromis entre les attentes du client et ses engagements sans biaiser les analyses obtenues.

6.4. Rétrospection et introspection

La richesse et la diversité des activités de Biotope se répercutent sur la richesse des tâches abordées en période de stage. Chacune d'entre-elles nécessitent des compétences diverses face auxquelles mes aptitudes étaient plus ou moins suffisantes non seulement entre les missions mais également selon les différents savoir-faire qu'un seul projet peut demander. Si mes bases étaient insuffisantes en termes de connaissances naturalistes, mon niveau en Système d'Information Géographique (SIG) était satisfaisant afin d'appréhender le logiciel Qgis et ma maîtrise de l'anglais scientifique et de la rédaction de synthèses en adéquation avec le niveau requis pour ma mission principale.

Le cycle de formations apportées a été très enrichissant particulièrement en matière de législation environnementale. Le partage et l'aide de mes encadrants ainsi que mes apprentissages personnels m'ont permis non seulement d'appliquer mais également de développer les connaissances du logiciel Qgis de la formation de Biotope.

Dans un scénario hypothétique d'une embauche suite à cette expérience, mon profil aurait pu potentiellement prétendre à un poste de chargé de mission ou chef de projet généraliste. Mes préférences personnelles m'ont menées à poursuivre mes études.

7. Conclusion

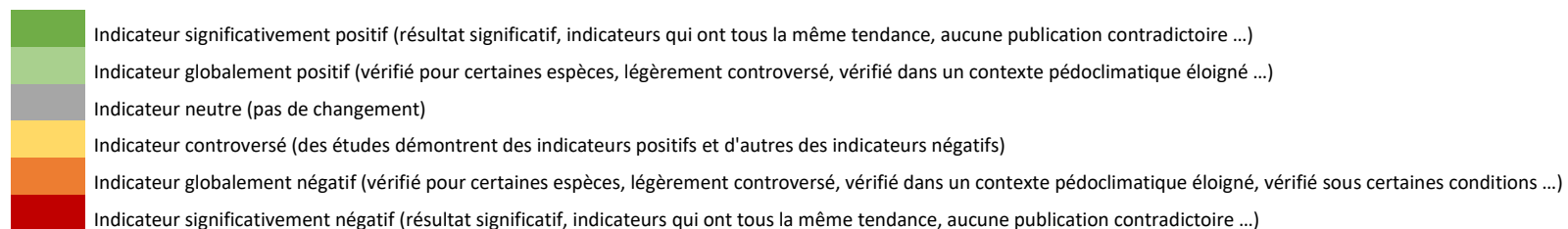
Au-delà de l'application de la charte d'engagement et de la législation environnementale en vigueur, les bureaux d'études peuvent également contribuer, non seulement dans le cadre de leurs activités annexes (R&D, édition ...) mais aussi dans le cadre de prestations, à l'évolution des connaissances, de la mise en œuvre et de la nature de la séquence ERC. C'est dans cette optique que s'inscrit la prestation pour l'OFB d'évaluation de l'efficacité et de l'éligibilité des mesures agroécologiques au titre de la compensation des atteintes à la biodiversité. Cette première phase consiste à rassembler des données bibliographiques d'indicateurs (si possible quantitatifs) reflétant la plus-value écologique d'MAE sur les espèces. Ce rapport intermédiaire traitant de 5 mesures particulières souligne la variabilité, la complexité ainsi que les interrelations des effets de ces mesures sur la faune, la flore et les habitats naturels.

Afin d'apporter une lisibilité des tendances soulevées dans la bibliographie, tous les résultats obtenus jusqu'à présent sont synthétisés dans un tableau croisé. On y retrouve en colonne les mesures agroécologiques proposées par l'OFB légèrement adaptées aux résultats bibliographiques et en ligne une entrée par organismes ou habitats proposée et validée par des experts ainsi que le comité de pilotage. Ce tableau demeure en cours de finalisation par l'équipe.

Tableau 2 : Extrait du tableau des effets des mesures agroécologiques sur les différents taxons (20/08/2021)

Groupe	Cortège	Indicateur	Retard de fauche	Rotation des cultures	Cultures associées	Diminution taille parcelles	Réduction traitements aux produits phytopharmaceutiques	Réduction des amendements / Amendements organiques	Mise en place de lutte biologique	Diversification des assolements	Conversion à l'agriculture biologique	Conversion de cultures en prairie	Pâturage des intercultures	Mise en place d'agroforesterie	Adaptation des pratiques pastorales	Protection/pérennisation des prairies permanentes	Couverture permanente des sols agricoles	Réduction du travail du sol	Mise en place de paillage végétal	Plantation de haies	Restauration des bords de champs	Implantation de prairie mellifères ou faune sauvage
Biodiversité du sol	Mycorhize	Abondance																				
		Diversité																				
	Vers de terre	Abondance																				
		Diversité																				
	Microarthropodes (collemboles, acariens ...)	Abondance																				
		Diversité																				
	Microfaune (bactéries, nématodes, champignons ...)	Abondance																				
		Diversité																				
Insectes	Saproxylophage	Abondance																				
		Diversité																				
	Lépidoptère des milieux prairiaux	Abondance																				
		Diversité																				
	Autres pollinisateurs	Abondance																				
		Diversité																				
	Prédateurs (coléoptères, sauterelles ...)	Abondance																				
		Diversité																				
Arachnides	Araignées	Abondance																				
		Diversité																				
Amphibiens	Amphibiens	Abondance																				
		Diversité																				
		Déplacement (TVB)																				
		Divers																				
Oiseaux	Cortège des milieux agricoles	Abondance																				
		Diversité																				
		Abondance																				

Groupe	Cortège	Indicateur	Retard de fauche	Rotation des cultures	Cultures associées	Diminution taille parcelles	Réduction traitements aux produits phytopharmaceutiques	Réduction des amendements / Amendements organiques	Mise en place de lutte biologique	Diversification des assolements	Conversion à l'agriculture biologique	Conversion de cultures en prairie	Pâturage des intercultures	Mise en place d'agroforesterie	Adaptation des pratiques pastorales	Protection/pérennisation des prairies permanentes	Couverture permanente des sols agricoles	Réduction du travail du sol	Mise en place de paillage végétal	Plantation de haies	Restauration des bords de champs	Implantation de prairie mellifères ou faune sauvage
	Cortège des milieux ouverts herbacés	Diversité																				
Chiroptères	Chiroptères	Alimentation																				
		Déplacement (TVB)																				
		Abondance																				
		Diversité																				
Mammifères	Mammifères	Alimentation																				
		Déplacement (TVB)																				
		Reproduction																				
		Population																				
Milieux aquatiques	Mollusques aquatiques	Abondance																				
		Diversité																				
Flore	Flore patrimoniale des prairies	Abondance																				
		Diversité																				
	Flore messicole	Abondance																				
		Diversité																				
	Flore patrimoniale des milieux humides	Abondance																				
		Diversité																				



Pas de données

8. Bibliographie

8.1. Bibliographie générale

Agreste (2020) Graph'Agri 2020 – L'agriculture, la forêt, la pêche et les industries agroalimentaires. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/GraFra2020Integral/detail/>

Assemblée des Départements de France (2015) Espaces Naturels Sensibles : une politique départementale qui fête ses 30 ans. <http://www.departements.fr/espaces-naturels-sensibles-une-politique-departementale-qui-fete-ses-30-ans/>

Miaud Claude (2013) Comment estimer la distance de dispersion maximale d'un amphibien ? Une étude de cas avec le Crapaud calamite. *Bourgogne-Nature* 17. http://www.bourgogne-franche-comte-nature.fr/fichiers/pages-206-207-de-bn17-cahiers-ld-crapaud-calamite_1470844380.pdf

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018) Evaluation environnementale - Guide d'aide à la définition des mesures ERC.

OFB (2021) Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels. Outils de gestion et de planification n°88. <http://ct88.espaces-naturels.fr/>

Roussel, S., Tardieu, L. & Vaissière, A. (2019). Compensation écologique et agriculture : est-ce compatible ? *Revue économique*, 70, 123-137. <https://doi.org/10.3917/reco.701.0123>

Sordello R., Conruyt-Rogéon G., Merlet F., Houard X. et Touroult J. (2013) Synthèses bibliographiques sur les traits de vie de 39 espèces proposées pour la cohérence nationale de la Trame verte et bleue relatifs à leurs déplacements et besoins de continuité écologique. Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) - Service du Patrimoine naturel (SPN) & Office pour les insectes et leur environnement (Opie). 20 pages + 39 fiches

Vaissière, Anne-Charlotte ; Quétier, Fabien ; Calvet, Coralie ; Latune, Julie (2020) Quelles implications possibles du monde agricole dans la compensation écologique ? Vers des approches territoriales, *Revue Science Eaux & Territoires*, Éviter, réduire, compenser : et si l'on s'organisait à l'échelle des territoires ? numéro 31, 2020, p. 38-43, 15/01/2020. 10.14758/SET-REVUE.2020.1.08.

8.2. Bibliographie des mesures agroécologiques

8.2.1. Culture associée

Claude de Vallavieille-Pope, Makram Belhaj Fraj, Bruno Mille et Jean-Marc Meynard (2006) Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. Dossier de l'environnement de l'INRA n°30, 101-109

Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E (2014) Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques* 40, 1-24.

Laurent Bedoussac, Etienne-Pascal Journet. 2017. Culture associée : Définition. Dictionnaire d'Agroécologie, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/culture-associee/>
Marie-Benoît Magrini, Pierre Triboulet et Laurent Bedoussac (2013) Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. Une étude ex-ante sur l'acceptabilité de cultures associées blé dur-légumineuses. *Economie rurale* 338, 25-45

Williams, D.R., Pople, R.G., Showler, D.A., Dicks, L.V., Child, M.F., zu Ermgassen, E.K.H.J. and Sutherland, W.J. (2012) *Bird Conservation: Global evidence for the effects of interventions*. Exeter, Pelagic Publishing

8.2.2. Réduction des traitements aux produits phytosanitaires

Auber et al. (2011) Structural and functional effects of conventional and low pesticide input crop-protection programs on benthic macroinvertebrate communities in outdoor pond mesocosms. *Ecotoxicology* 20, 2042-2055

Baker N. J., Bancroft B. A., Garcia T. S. (2013) A meta-analysis of the effects of pesticides and fertilizers on survival and growth of amphibians. *Science of the Total Environment* 449, 150-156.

Billaud, O., Vermeersch, R.-L., Porcher, E., 2021. Citizen science involving farmers as a means to document temporal trends in farmland biodiversity and relate them to agricultural practices. *J. Appl. Ecol.* 58, 261–273.

Bruggisser O. T., Schmidt-Entling M. H., Bacher S. (2010) Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biological Conservation* 143, 1521-1528

Chiron et al. (2014) Pesticide doses, landscape structure and their relative effects on farmland birds. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 185, 153-161

Decourtye Axel, Gayrard Mélanie, Chabert Ariane, Requier Fabrice, Rollin Orianne, et al. (2014) Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2014, pp.19-33. fffal-01595383f

Dicks, L.V., Showler, D.A., Sutherland, W.J. (2010) *Bee conservation: evidence for the effects of interventions*. Pelagic Publishing.

Sarah Fernique (2018) Identification et évaluation d'innovations techniques et systémiques favorables à la biodiversité fonctionnelle en vergers de pommiers. *Sciences du Vivant*.

Hage-Ahmed Karin, Rosner Kathrin et Steinkellner Siegrid (2018) Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. *Pest Management Science* 75, 583–590

Hedde et al., (2015) Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity in South-East France. *Applied Soil Ecology* 88, 26-31.

Karimi et al., (2020) A meta-analysis of the ecotoxicological impact of viticultural practices on soil biodiversity. *Environmental Chemistry Letters* 18, 1947–1975

Key, G., Whitfield, M., Dicks, L., Sutherland, W. J. and Bardgett, R. D. (2013) *Enhancing Soil Fertility as an Ecosystem Service: Evidence for the Effects of Actions*. The University of Cambridge, Cambridge.

Lechenet Martin, Dessaint Fabrice, Py Guillaume, Makowski David and Munier-Jolain Nicolas (2017) Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature plants*, 27 février. 10.1038/nplants.2017.8

Le Roux et al. (2008) Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies : Synthèse du rapport d'expertise. INRA

Nicholls C. I. and Altieri M. A. (2013) Plant biodiversity enhances bees and other insectpollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 257-274

Pottiez et al. (2020) Reconception durable de deux systèmes grandes cultures et légumiers pour réduire de moitié l'utilisation des produits phytosanitaires. *Innovations Agronomiques* 70, 305-316. <https://hal.inrae.fr/hal-02618186>

8.2.3. Conversion à l'agriculture biologique

Bengtsson Janne, Ahnström Johan Weibull et Ann-Christin (2005) The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance : a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42, 261-269

Hole D.G., Perkins A.J., Wilson J.D., Alexander I.H., Grice P.V., Evans A.D. (2005) Does organic farming benefit biodiversity ? *Biological Conservation* (122), 113–130

Honegger Adrian, Wittwer Raphaël, Hegglin Django, Oberholzer Hans-Rudolf, de Ferron Anne, Jeanneret Philippe et van der Heijden Marcel (2014) Effets à long terme d'une conversion à l'agriculture biologique. *Recherche Agronomique Suisse* 5 (2) 44-51.

Key, G., Whitfield, M., Dicks, L., Sutherland, W. J. and Bardgett, R. D. (2013) Enhancing Soil Fertility as an Ecosystem Service: Evidence for the Effects of Actions. The University of Cambridge, Cambridge.

Mäder Paul, Fliebbach Andreas, Dubois David, Gunst Lucie, Fried Padruot, Niggli Urs (2002) Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Sciencemag* 296 <http://science.sciencemag.org>

Schader, C. (2009), 'Cost-effectiveness of organic farming for achieving environmental policy targets in Switzerland', Ph.D. thesis, Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences, Aberystwyth, Aberystwyth University, Wales. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, Switzerland.

Manuel K. Schneider, Gisela Lüscher, Philippe Jeanneret et al. (2014) Gains to species diversity in organically farmed fields are not propagated at the farm level. *Nature communications* 5 (4151)

Déborah Massis, François Hild (2016). La pratique de l'agriculture biologique créatrice d'emploi ? *Agreste Les Dossiers* (35). Agreste Les Dossiers n°35 juillet 2016

Smith, R.K., Dicks, L.V., Sutherland, W.J., (2015) Scientific evidence to address priority knowledge needs for sustainable agriculture. *Conservation Evidence Resources*

Verbruggen E., Rölting W. F. M., Gamper H. A., Kowalchuk G. A., Verhoef H. A. and van der Heijden M. G. A. (2010) Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist* (186) 968-979

8.2.4. Mise en place d'agroforesterie

Berthinussen, A., Richardson O.C. and Altringham J.D. (2021) Bat Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions. Conservation Evidence Series Synopses. University of Cambridge, Cambridge, UK

Bhagwat S. A., Willis K. J., Birks H. J. B. and Whittaker R. J. (2008) Agroforestry : a refuge for tropical biodiversity? Trends in Ecology and Evolution 23 (5), 261-267

Coulon Frédéric, Dupraz Christian, Liagre Fabien, Pointereau Philippe (2000) Etude des pratiques agroforestières associant des arbres fruitiers de haute tige à des cultures ou des pâtures

Marsden Claire, Martin-Chave Ambroise, Cortet Jérôme, Hedde Mickaël, Capowiez Yvan (2020) How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. Plant Soil 453, 29-44

Masson Benjamin et Dupraz Christian (2006) Agroforesterie: Quand les arbres font leur retour dans les champs. Agravalor 141

Sunshine A. Van Bael, Stacy M. Philpott, Russell Greenberg, Peter Bichier, Nicholas A. Barber, Kailen A. Mooney, and Daniel S. Gruner (2008) Birds as predators in tropical agroforestry systems. Ecology 89 (4), 928-934

Torralbaa Mario, Fagerholma Nora, Burgessc Paul J., Morenod Gerardo, Plieningera Tobias (2016) Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 230, 150–161

Vigan Martin, Allain Sandrine, Choisis Jean-Philippe, Mihout Sarah. 2017. Agroforesterie : Définition. Dictionnaire d'Agroécologie, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedia/agroforesterie/>

8.2.5. Mise en place de paillage végétal

Jens Schirmel, Julius Albert, Markus Peter Kurtz, Katherine Muñoz (2018) Plasticulture changes soil invertebrate assemblages of strawberry fields and decreases diversity and soil microbial activity. Applied Soil Ecology 124, 379-393 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.025>

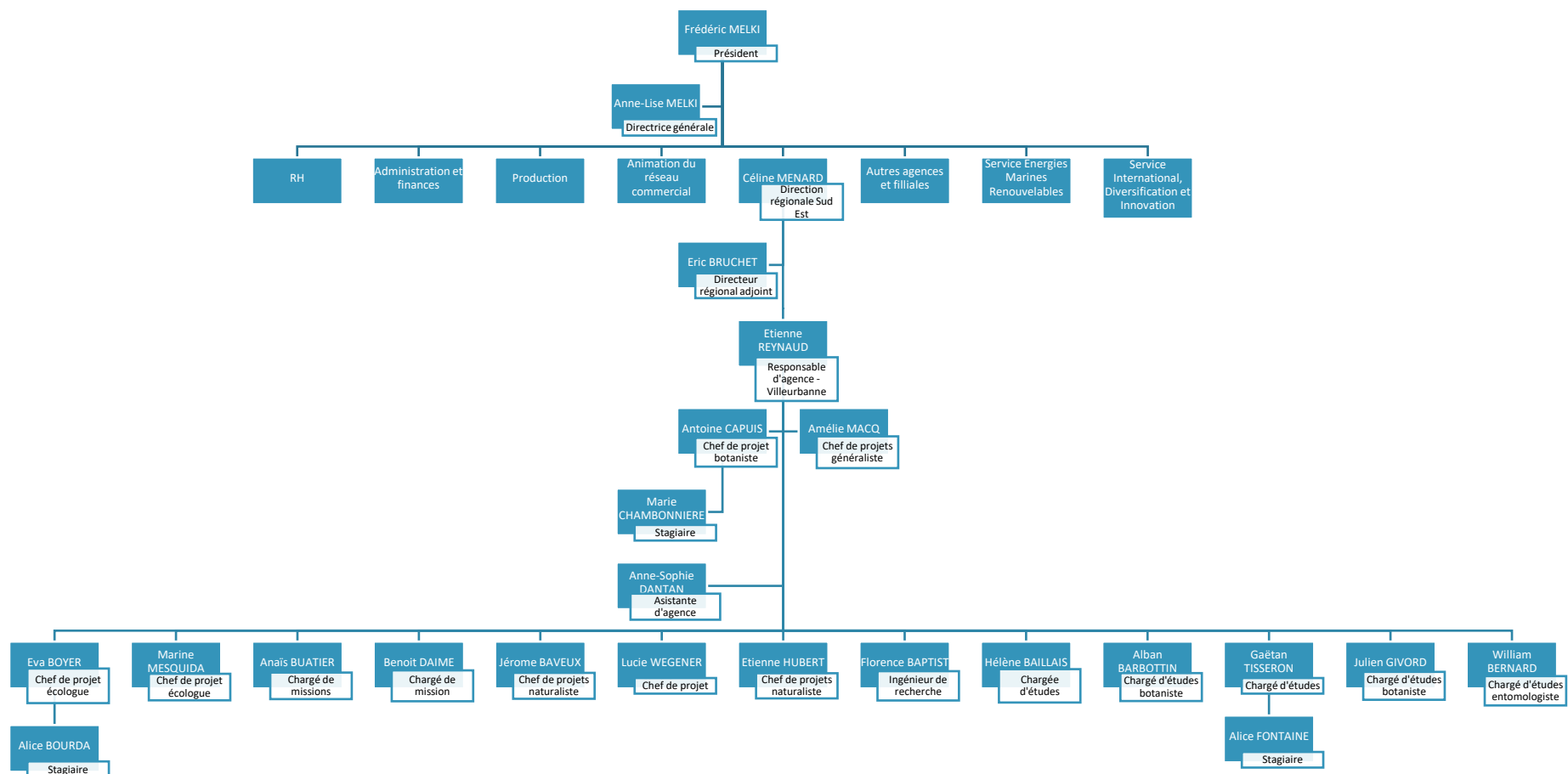
Meriem Trabelsi. (2018) Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ? Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III

Piotr Skórka, Magdalena Lenda, Dawid Moroń, Piotr Tryjanowski (2013) New methods of crop production and farmland birds: effects of plastic mulches on species richness and abundance. Journal of Applied Ecology 50, 1387-1396 <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12148>

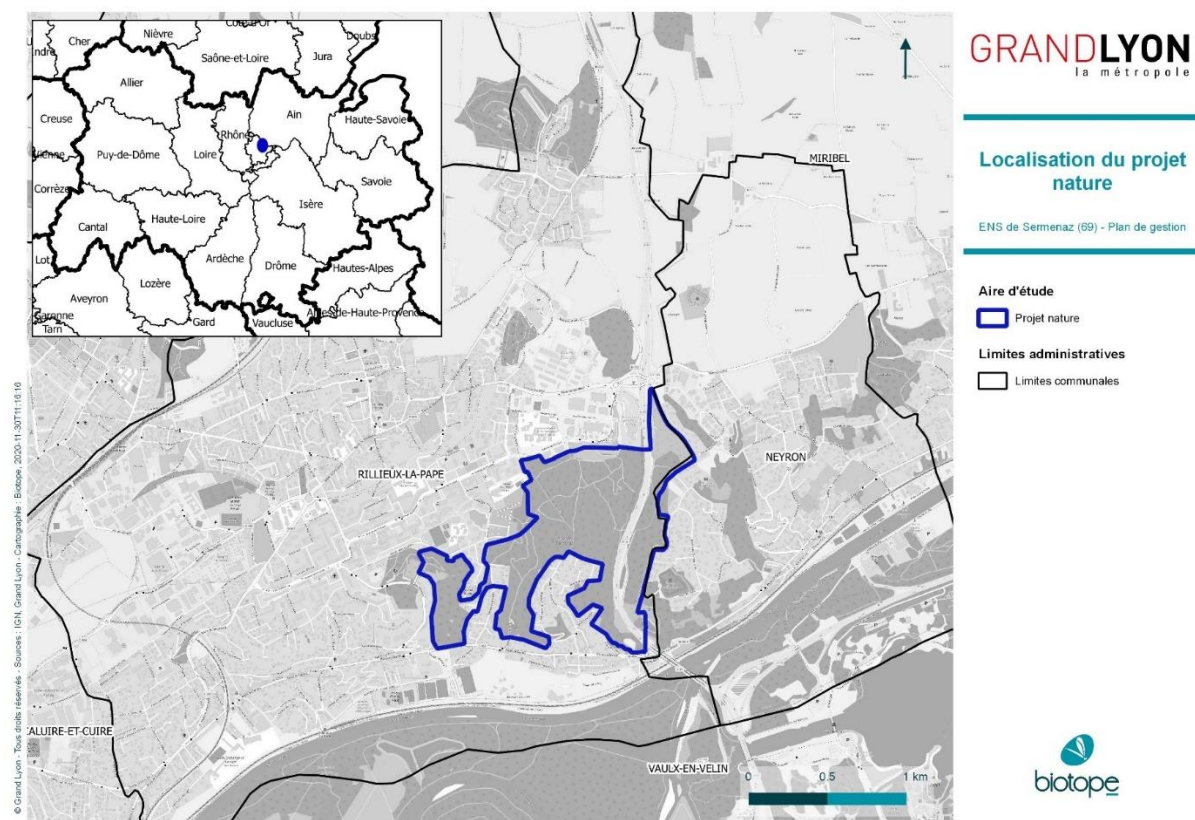
S.G. Telkar, Kamal Kant and Shivendu Pratap Singh Solanki (2017) Effect of Mulching on Soil Moisture Conservation. Biomolecule Reports

9. Annexes

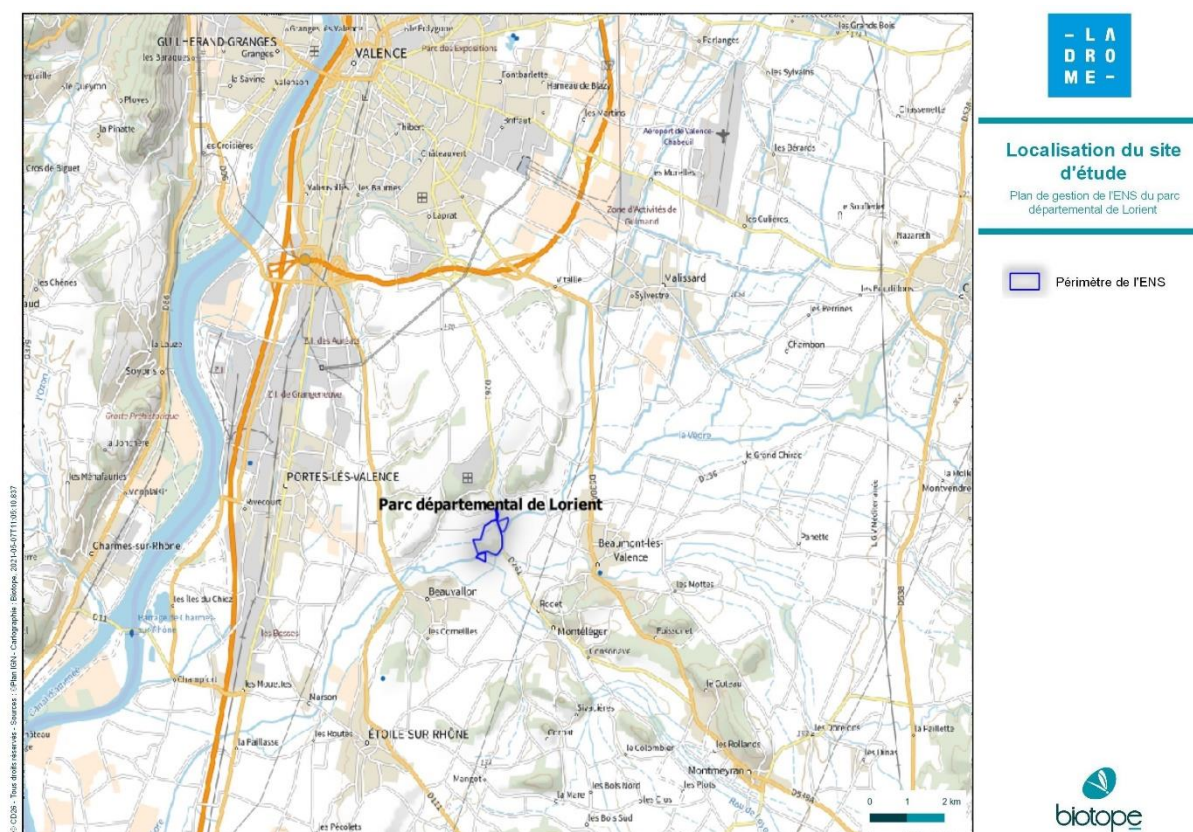
Annexe 1: Organigramme de l'agence AuRA



Annexe 2 : Localisation de l'ENS de Sermenaz



Annexe 3 : Localisation de l'ENS du parc départemental de Lorient





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Alice Bourda
2020-2021

Stage assistant chef de projet écologue : Efficacité et éligibilité des mesures agroécologiques au titre de la compensation des atteintes à la biodiversité

Résumé : Afin d'évaluer les mesures agroécologiques éligibles en tant que mesures compensatoires dans l'implémentation de la séquence ERC, ce rapport se concentre sur la quantification de la plus-value écologique de 5 mesures agroécologiques : la culture associée, la réduction des traitements aux produits phytopharmaceutiques, la conversion à l'agriculture biologique, la mise en place d'agroforesterie et la mise en place de paillage végétal. Les résultats soulignent la variabilité de l'efficacité de ces mesures de gestion à favoriser l'abondance ou la richesse spécifique de la faune et de la flore.

Mots Clés : Mesures agroécologiques, biodiversité, compensation, séquence ERC, bureau d'étude

Biotope AuRA :
26 rue Emile Decorps, 69 100 Villeurbanne

Tuteur entreprise :
Eva Boyer
Chef de Projet Ecologue

Tuteur académique :
Céline Tanguay