



HAL
open science

Caractérisation des formes d'agriculture au sein d'un réseau d'exploitations agricoles

Baptiste Legrand

► **To cite this version:**

Baptiste Legrand. Caractérisation des formes d'agriculture au sein d'un réseau d'exploitations agricoles. Agronomie. 2019. hal-02867814

HAL Id: hal-02867814

<https://hal.inrae.fr/hal-02867814>

Submitted on 15 Jun 2020

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

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

Mémoire de fin d'études :

**Caractérisation des formes d'agriculture au sein d'un réseau
d'exploitations agricoles**



Auteur : Baptiste Legrand

Professeur référent : Sylvain Plantureux (LAE, UMR 1132, Université de Lorraine)

Tuteurs : Manon Dardonville (LAE, UMR 1132, INRA de Colmar),

Olivier Therond (LAE, UMR 1132, INRA de Colmar)

Année universitaire 2018-2019

Mémoire de fin d'études d'Ingénieur Agronome de l'ENSAIA

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement l'ensemble des personnes qui ont pu contribuer au très bon déroulement de mon stage de fin d'études au sein du LAE de l'UMR 1132.

Je remercie plus particulièrement Manon Dardonville et Olivier Therond pour avoir su m'accompagner pendant ces 6 mois avec des moments d'échanges et de réflexions très stimulants. Je remercie aussi tous les membres du LAE du site de Colmar qui m'ont permis de mieux comprendre le domaine de la recherche et ses défis.

Enfin je remercie ma famille qui m'a donné l'opportunité de suivre les études que je désirais, et toi Eva, qui m'accompagne depuis toutes ces années dans les moments difficiles mais aussi dans les plus importants.

SOMMAIRE

Liste des abréviations.....	I
Table des illustrations	III
<i>Introduction.....</i>	<i>I</i>
1- Présentation de la structure d'accueil.....	1
2- Contexte de l'étude.....	2
2.1- Contexte général de l'agriculture	2
2.2- Un concept clé : les services écosystémiques	3
3- Présentation de l'étude et de mon rôle	5
3.1- Un besoin de mieux visualiser les formes d'agriculture.....	5
3.2- Une évaluation de la contribution des services à la production.....	5
3.3- La présence de services écosystémiques en agriculture	7
3.4- Mon rôle en tant que stagiaire.....	7
<i>Méthodes utilisées.....</i>	<i>9</i>
1- Recherche bibliographique préliminaire	9
1.1- Premières pistes envisagées	9
1.1- Le déploiement d'une méthode.....	10
2- Le cadre conceptuel.....	11
2.1- Les services écosystémiques fournis aux agriculteurs	11
2.2- Les profils des services écosystémiques	11
2.2.1- Le niveau potentiel de fourniture de SE.....	11
2.2.2- La modulation du potentiel de fourniture de SE	11
2.2.3- L'utilisation effective des services.....	12
2.2.4- La notion de capital naturel.....	12
2.3- Synthèse et représentations	12
3- Synthèse bibliographique sur les déterminants des potentiels de fourniture en SE et les facteurs de modulation	14
4- Construction d'une évaluation multicritère à partir d'indicateurs	15
4.1- Choix du système de notation.....	15
4.1.1- Système de notation pour le niveau potentiel de SE et sa modulation.....	15
4.1.2- Système de notation pour le niveau effectif de SE.....	16
4.2- Construction d'un guide de notation.....	17
4.3- Traitement et représentation des résultats	17
4.3.1- Grilles de dépouillement et de calculs des indicateurs	17
4.3.1- Normalisation des notes de potentiel et de modulation	18

4.3.2-	Représentation des résultats	18
5-	Données pour la démonstration de faisabilité	20
5.1-	Description et démarche pour le choix de l'échantillon	20
5.2-	Recueil des données.....	20
5.2.1-	Elaboration d'un questionnaire	20
5.2.2-	Protocole d'enquête	21
Résultats	22
1-	Résultats issus de la synthèse bibliographique réalisée.....	22
1.1-	Les déterminants du potentiel de fourniture des SE.....	23
1.1.1-	La rotation culturale.....	23
1.1.2-	La couverture du sol	23
1.1.3-	Le mélange d'espèces	24
1.1.4-	L'agroforesterie	24
1.1.5-	Les habitats semi-naturels.....	24
1.1.6-	Les caractéristiques du sol	24
1.2-	Les facteurs de modulation de la fourniture en SE.....	25
1.2.1-	L'utilisation d'insecticides.....	25
1.2.2-	L'apport de matière organique.....	25
1.2.3-	La pratique du chaulage.....	25
1.2.4-	La récolte en mauvaises conditions.....	25
1.2.5-	Le travail du sol	26
1.2.6-	L'agriculture de conservation	26
1.2.7-	La diversité intra-parcellaire due à la flore adventice	26
1.3-	Synthèse dans une base de données	26
2-	Nombre d'agriculteurs enquêtés	27
3-	Représentation des résultats par exploitation.....	27
3.1-	Exploitation A	27
3.2-	Exploitation B.....	28
3.3-	Exploitation C.....	30
3.4-	Exploitation D	31
4-	Résultats globaux	32
4.1-	Modulation du potentiel de SE	32
4.2-	Utilisation effective des SE.....	33
Discussion	35
1-	Préparation et réalisation des enquêtes	35
2-	Méthodologie de notation	35

3- Finalités de l'outil.....	36
3.1- Outil dédié aux agriculteurs et aux acteurs du monde agricole	36
3.2- Outil d'évaluation pour les conditionnalités de la PAC	36
<i>Conclusion</i>	37
BIBLIOGRAPHIE	39
Articles et ouvrages	40
Articles numériques	49
ANNEXES	51
Annexe n°1 : Base de données de la synthèse bibliographique	52
Annexe n°2 : Guide de notation.....	54
Annexe n°3 : Questionnaire d'enquête	121

Liste des abréviations

CIPAN = Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

CRAGE = Chambre Régionale d'Agriculture Grand-Est

INRA = Institut National de Recherche Agronomique

LAE = Laboratoire Agronomie et Environnement

MO = Matière Organique

N = Azote

P = Phosphore

PAC = Politique Agricole Commune

SAU = Surface Agricole Utile

SIE = Surface d'Intérêt Ecologique

SE = Service écosystémique

UMR = Unité Mixte de Recherche

Table des illustrations

Figure 1 : Logo INRA	1
Figure 2 : Logo du LAE	1
Figure 3 : Organisation du LAE	2
Figure 4 : Représentation du panel de services écosystémiques existants	4
Figure 5 : Cadre conceptuel développé par Therond et al., 2017	6
Figure 6 : Cheminement adopté pour la partie méthodologie	9
Figure 7 : Cadre conceptuel des déterminants du potentiel et de ses modulations	12
Figure 8 : Représentation de la modulation du service de régulation des adventices et de son utilisation effective.....	13
Figure 9 : Mise en relation du niveau potentiel de fourniture en SE et de son utilisation	14
Figure 10 : Exemple de notation pour le potentiel de fourniture de SE (ici effet de la rotation sur la régulation des adventices)	16
Figure 11 : Exemple de notation pour la modulation de fourniture en SE (ici effet du chaulage sur la fourniture en éléments nutritifs)	16
Figure 12 : Exemple de notation pour l'utilisation effective du SE de fourniture en élément azoté (ici notes d'intensité de fertilisation)	16
Figure 13 : Exemple de notation pour l'utilisation effective du SE de fourniture en élément azoté (ici note de prise en compte du SE)	17
Figure 14 : Variation possible du potentiel modulé de chaque service écosystémique	18
Figure 15 : Représentation finale de l'évaluation	18
Figure 16 : Liens directs et indirects entre la gestion de la couverture végétale et les caractéristiques du sol, avec les services écosystémiques	22
Figure 17 : représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation A	27
Figure 18 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation A	28
Figure 19 : synthèse des scores obtenus pour l'exploitation B	29
Figure 20 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation B.....	29
Figure 21 : Synthèse des scores obtenus pour l'exploitation C.....	30
Figure 22 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation	30
Figure 23 : Synthèse des scores obtenus pour l'exploitation D	31
Figure 24 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation D	31
Figure 25 : Représentation des potentiels modulés de chaque SE pour chaque exploitation	32
Figure 26 : Représentation de l'intensité et de la prise en compte des SE par rapport à leur potentiel modulé, pour toutes les exploitations	33

Introduction

Le mémoire qui suit présente le travail que j'ai effectué durant six mois de stage au sein du Laboratoire Agronomie et Environnement, UMR Université de Lorraine et INRA (Institut National de Recherche Agronomique) sur le site de Colmar en Alsace. Mon choix s'est porté sur cette structure pour mon mémoire de fin d'études afin de découvrir le monde de la recherche scientifique et sa mise en application par des enquêtes de terrain. A travers cette introduction, je présenterai le laboratoire qui m'a accueilli pour ce stage, puis je ferai une mise en contexte de l'étude avant d'évoquer mon rôle pendant ce stage.

1- Présentation de la structure d'accueil

L'INRA de Colmar situé en Alsace (68) a été ma structure d'accueil afin d'effectuer mon stage de fin d'études.



Figure 1 : Logo INRA

L'INRA est l'institut majeur de recherche en Agronomie en France mais a aussi une influence forte à l'étranger. Il a été fondé en 1946 et est actuellement présidé par Philippe Mauguin. Cet institut est sous la double tutelle du ministère chargé de la Recherche et du ministère chargé de l'Agriculture.

En raison des enjeux actuels du monde agricole, l'INRA axe ses recherches sur dix thématiques principales : l'agriculture durable, l'alimentation et la santé, la chimie verte, l'économie et la société, les équilibres alimentaires mondiaux, la génétique, le réchauffement climatique, les ressources et les milieux naturels, la santé des animaux et la santé des plantes (inra.fr, 2019).

Plusieurs centres INRA sont répartis à travers la France dont celui de Colmar. Ce dernier travaille majoritairement sur les problématiques du domaine viticole en raison de la présence importante de la culture de la vigne en Alsace mais aussi sur l'évaluation multidimensionnelle de la durabilité des systèmes agricoles. Le centre est rattaché à trois départements scientifiques INRA : Biologie et Amélioration des Plantes (BAP), Santé des Plantes et Environnement (SPE) et Environnement et Agronomie (EA) (colmar.inra.fr, 2019).

C'est au sein du département Environnement et Agronomie que s'est déroulé mon stage, et plus particulièrement dans le Laboratoire Agronomie et Environnement.



Figure 2 : Logo du LAE

Ce laboratoire est une unité mixte de recherche (UMR 1132) INRA-Université de Lorraine répartie sur deux sites : celui de l'INRA de Colmar et celui de l'ENSAIA (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires) situé à Nancy.

Deux thématiques de recherches sont portées par cette UMR : le métabolisme des plantes impliqué dans les processus de défense et d'adaptation aux contraintes environnementales (équipe métabolisme secondaire M2) et les interactions entre pratiques agricoles, biodiversité et services écosystémiques (équipe AGISEM : indicateurs agri-environnementaux et évaluation multicritère) (lae.univ-lorraine.fr, 2016).

C'est au sein de cette dernière équipe, animée par Olivier Therond, que j'ai réalisé mon stage.

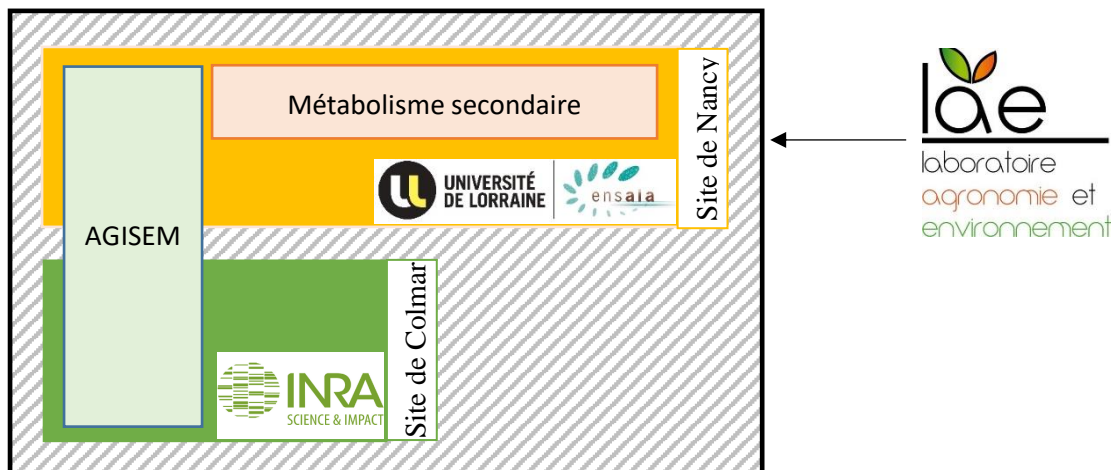


Figure 3 : Organisation du LAE

2- Contexte de l'étude

2.1- Contexte général de l'agriculture

L'agriculture fait face aujourd'hui à de nombreux enjeux pour répondre aux demandes sociétales et à l'essor de l'importance de la prise en compte de son impact sur l'environnement. La réflexion d'une agriculture plus durable emmène avec elle un ensemble de problématiques complexes allant des thématiques de recherche, jusqu'à la mise en application des concepts d'innovation.

La recherche scientifique joue un rôle important dans cette transition qui remet en cause de nombreuses pratiques et nous replonge dans l'agronomie au sens large : produire des denrées alimentaires d'une façon plus vertueuse (ce qui est aussi valable pour la production non alimentaire dont la demande augmente), trouver des alternatives à l'usage des ressources fossiles et minières qui s'épuisent, aux produits phytosanitaires dont les conséquences sur la santé humaine et l'environnement sont de moins en moins négligeables, limiter l'utilisation de l'eau, réduire l'impact de l'agriculture sur le changement climatique et enfin protéger la biodiversité (Robertson et Swinton, 2005).

La deuxième moitié du 20^{ème} siècle a vu émerger l'écologie comme une discipline à part entière. Celle-ci est aujourd'hui au cœur des débats qui touchent à l'ensemble des problématiques environnementales et sociétales que peuvent soulever l'agriculture (Lescourret, 2012).

Nous sommes passés d'une écologie visant à protéger la nature à celle qui a pour but de mieux gérer la biodiversité (Blandin, 2009). De plus, l'agronomie a longtemps délaissé les fonctions de régulation biologique dans les agroécosystèmes (Doré, Lecorre-Gabens, et Meynard, 2011.), suite aux politiques d'intensification de l'agriculture apparues dans les années 1960.

Pour répondre aux enjeux actuels, (Duru et al. 2015) ont décrit deux orientations pour la modernisation écologique en agriculture :

- La première porte sur l'amélioration de l'efficacité des intrants externes utilisés, le recyclage des déchets entre les systèmes, l'amélioration des pratiques de gestion ou les technologies d'agriculture de précision. A ceci, s'ajoute l'utilisation d'intrants biologiques pour remplacer les intrants chimiques et les OGM.
- La seconde se base sur le développement des services écosystémiques fournis par la biodiversité à l'agriculture. Ces services dépendent des modes de gestion de la biodiversité au champ, à la ferme et au niveau du paysage. Cette approche vise le développement de cultures et systèmes agricoles diversifiés mais aussi la diversification des paysages pour améliorer les services rendus aux agriculteurs et à la société et in fine pour réduire drastiquement la dépendance aux intrants exogènes. L'utilisation d'intrants externes et de technologies n'est pas exclue dans cette stratégie.

La seconde orientation est une réponse au fait que la modernisation du monde agricole a eu pour conséquence une fragilisation inquiétante de la capacité de production autonome des écosystèmes, de plus en plus dépendante des intrants exogènes (Boulaine, 1996).

2.2- Un concept clé : les services écosystémiques

Le concept de service écosystémique a été popularisé par le travail international de « l'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire » dont l'objectif était d'évaluer les conséquences des changements que subissent les écosystèmes sur le bien-être humain et la capacité à s'adapter à ces modifications (EFESE-EA., 2017).

Dans cette étude, les services écosystémiques sont conceptualisés comme ci-après :

« Les services écosystémiques sont les bénéfiques que les populations tirent des écosystèmes : cela inclue les services d'approvisionnement, de support, de régulation et culturels » (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Quatre types de services sont différenciés par « l'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire » :

- Les services d'approvisionnement qui regroupe l'alimentation, l'eau, le bois, les fibres...
- Les services de support (ou soutien) tels que la formation des sols, les cycles des nutriments, la photosynthèse...
- Les services de régulation ayant une incidence sur le climat, les maladies, la qualité de l'eau...
- Les services culturels qui offrent des avantages esthétiques, récréatifs, spirituels...

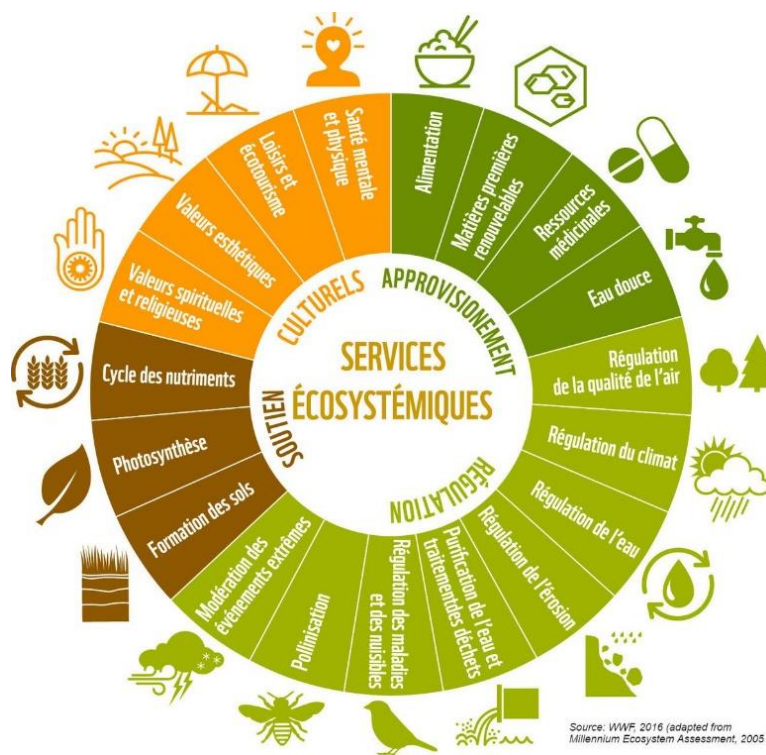


Figure 4 : Représentation du panel de services écosystémiques existants

Ces services sont fortement liés à la qualité et à la diversité des écosystèmes. Cependant dans un contexte agricole, où l'on parle plutôt d'« écosystème agricole », les pratiques et l'utilisation de l'environnement entourant l'exploitation agricole vont fortement impacter ces SE tant en quantité qu'en qualité : ces services sont en effet très dépendants de la biodiversité et l'agriculture a un impact certain sur cette dernière (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Cela induit une reconsidération des pratiques agricoles afin de soutenir et améliorer la fourniture en SE. Par exemple, face à la nécessité de réduire les usages de produits phytosanitaires, l'idée de reconsidérer et de valoriser les interactions biotiques monte en puissance (Lescourret, 2012). Par ailleurs, pour la protection des plantes, le rôle des ennemis naturels (un type de biocontrôle) est revisité et quantifié (Dib et al., 2010).

On remarque aussi que les pratiques culturelles sont revues dans un objectif de conservation ou de développement des SE : utilisation de plantes en couverture du sol afin d'induire une relation de contrôle plantes cultivées - adventices ou pour limiter la perte d'éléments nutritifs fournis par le sol (utilisation de CIPAN). Des recherches se tournent aussi vers l'installation et la gestion des habitats semi-naturels qui favorisent la présence des prédateurs naturels des bioagresseurs (Rusch et al., 2010).

Face au constat grandissant de l'importance des SE, l'évaluation EFESE (Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques) coordonnée par l'INRA a été réalisée afin d'évaluer les SE rendus et utilisés par les écosystèmes agricoles.

Dans cette étude, la définition et la classification des SE a été revue. En effet, en ne s'appuyant plus sur le rapport du MEA mais sur celui du CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), les services d'« approvisionnement » n'ont pas été retenus mais ont été considérés comme des biens.

Trois typologies sont présentes dans ce rapport : les biens, les services de régulation et les services culturels. Les services culturels étant à destination de la société, ils n'ont donc pas été considérés.

Cette étude décrit les mécanismes des différents services et procède ensuite à leur évaluation sur le plan biophysique mais aussi économique, à l'échelle de la France grâce à l'utilisation de modèles de simulation (EFESE-EA., 2017).

Olivier Therond était le coordinateur de l'étude EFESE-EA (Ecosystèmes Agricoles) et est responsable de l'équipe AGISEM et directeur adjoint du LAE où j'ai effectué mon stage. Il est à l'initiative de la thèse de Manon Dardonville et ont ensemble, encadré mon stage. Le projet de thèse porte sur l'évaluation de la vulnérabilité des différentes formes d'agriculture face aux changements climatiques et aux crises économiques.

3- Présentation de l'étude et de mon rôle

Mon stage s'insère dans la thèse de Manon Dardonville dirigée par Olivier Therond et Christian Bockstaller et a pour intitulé : « *Caractérisation des formes d'agriculture au sein d'un réseau d'exploitations* ».

3.1- Un besoin de mieux visualiser les formes d'agriculture

Face aux enjeux auxquels le monde agricole doit et devra faire face, un souci de compréhension du fonctionnement des exploitations agricoles et de plus en plus recherché. Par ailleurs, avec le développement de nouvelles solutions techniques et d'innovations en termes d'agronomie, l'agriculture voit une diversification de ses pratiques culturales se mettre en place.

Depuis quelques années, nous pouvons observer l'émergence de nouveaux types d'agriculture tels que l'agriculture de conservation qui se base sur une rotation allongée et diversifiée, une couverture du sol permanente et l'absence de travail du sol, l'agriculture de précision utilisation les innovations techniques actuelles telles que le GPS, ou encore l'agriculture raisonnée cherchant à diminuer son impact sur l'environnement en maîtrisant ses volumes d'intrants.

Ce développement induit une compréhension globale de la diversité des formes d'agriculture assez difficile et une obsolescence des termes simplistes et dichotomiques que sont l'agriculture « biologique » et l'agriculture « conventionnelle », étant à l'heure actuelle les catégorisations les plus utilisées.

Ces notions regroupent une grande variété de systèmes agricoles. De plus, des termes généraux sont utilisés pour traduire les formes de transition : intensification agroécologique, intensification écologique, intensification durable... Ce qui entraîne des confusions dans les définitions et interprétations (Therond et al. 2017).

3.2- Une évaluation de la contribution des services à la production

On observe à ce jour que les services rendus à l'agriculteur (à savoir ceux d'approvisionnement, de support et de régulation) sont de plus en plus dissociés des services à destination de la société (notamment ceux culturels) (Bommarco, Kleijn, et Potts 2013; Duru et al. 2015; Garbach et al. 2014). Cette distinction permet d'aller jusqu'à considérer les SE à destination de l'agriculteur, comme des facteurs de production (et donc des intrants) au même titre que les intrants d'origine anthropique (Le Roux et al., 2008).

De ce fait, il est théoriquement possible de déterminer quantitativement la part de la production permise par les intrants de types exogènes relativement à celle permise par les SE (Therond et al., 2017).

Par exemple, la quantification du service d'approvisionnement dans la participation à la production agricole, demanderait de distinguer la part relative de l'effet des intrants exogènes (énergie, irrigation, fertilisation, produits phytosanitaires) de celle des services de régulation biologique liés à

l'agroécosystème. Cependant, il existe à ce jour, un nombre très limité d'études ayant opéré ce partitionnement (Bengtsson 2015). Ce qui constitue à l'heure actuelle un front de recherche en plein développement (Therond et al., 2017).

Ce partitionnement a été partiellement réalisé dans l'étude EFESE-EA considérant les effets de deux SE : la fourniture d'azote et la restitution d'eau aux plantes cultivées, et un état initial des écosystèmes agricoles donné (par exemple, une teneur en azote organique) (EFESE-EA., 2017). Cependant, ces résultats sont contingents des choix de modélisation de l'étude et les modèles utilisés sont difficilement applicables dans des territoires particuliers.

Dans un article d'Olivier Therond intitulé "*A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review*", paru en 2017, le développement d'un outil analytique pour montrer la diversité des systèmes agricoles est proposé (figure 5). Cet outil se base pour partie sur la prise en compte de la participation des SE dans la production de biens agricoles afin de décrire des formes d'agriculture selon les pratiques utilisées. Dans ce référentiel à deux dimensions, l'axe vertical représente la part relative de la production permise par les intrants exogènes par rapport à celle permise par les SE.

Ce cadre conceptuel met en relation un type de système agricole avec une ou plusieurs combinaisons de contextes socio-économiques. L'axe horizontal représente dans quelle mesure la forme d'agriculture base ses relations socio-économiques sur le marché mondialisé en comparaison à des valeurs sociales, écologiques et locales via un ancrage territorial.

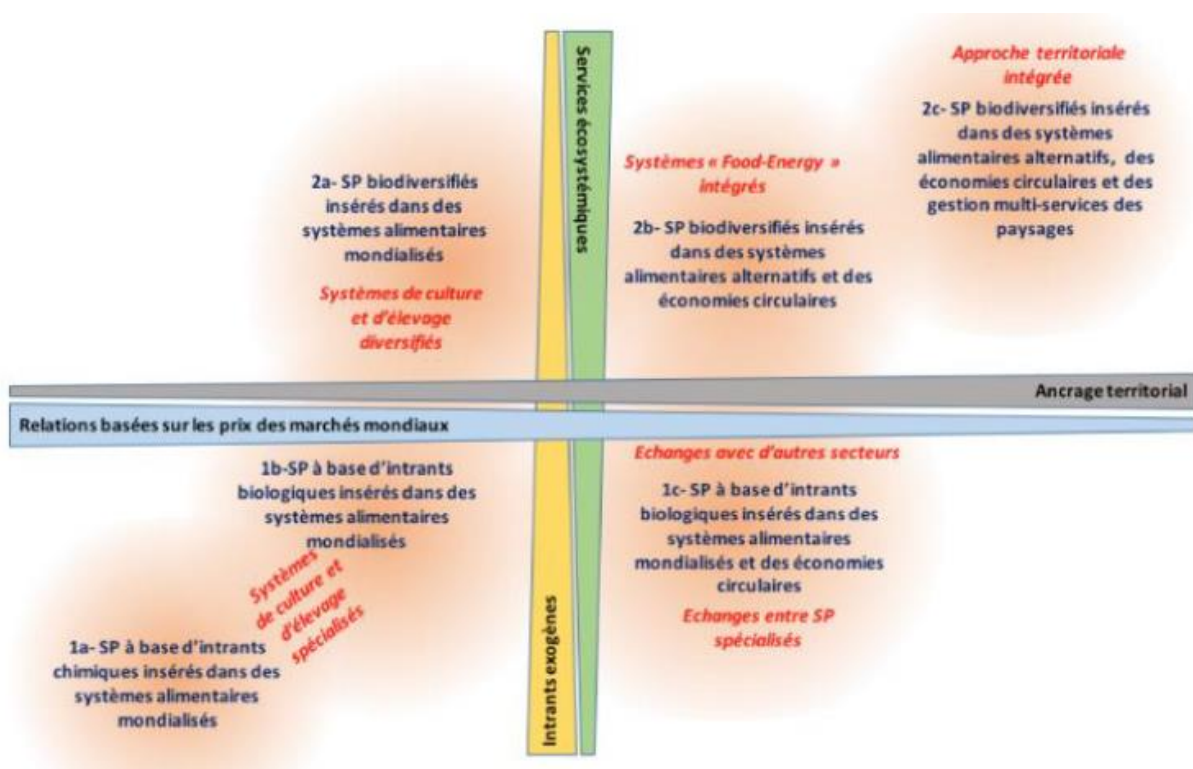


Figure 5 : Cadre conceptuel développé par Therond et al., 2017

Cette représentation permet de faire un pas en avant important dans le domaine de la caractérisation des formes d'agriculture.

3.3- La présence de services écosystémiques en agriculture

Le niveau des SE en agriculture dépend de deux éléments essentiels à savoir : les pratiques culturales actuelles et leur historique (Duru et al., 2015), mais aussi la configuration spatio-temporelle des éléments du paysage et ceux propres au système d'exploitation (Bartual et al. 2019).

Ces éléments dépendent directement des choix de l'agriculteur et des caractéristiques du paysage dans lequel son système de production est intégré.

On peut observer qu'en fonction des types de travail du sol, de fertilisation ou de protection des cultures, la fourniture en SE peut être impactée. Des pratiques auront tendance à réduire l'effet de certains services (par exemple pour les régulations biologiques qui ont tendances à être réduites par l'utilisation d'insecticides) (Emmerson et al. 2016) ou au contraire à améliorer des services (par exemple limiter l'érosion des sols avec l'utilisation d'une couverture du sol permanente) (Scholberg et al. 2010).

Concernant la configuration spatio-temporelle des champs cultivés d'une exploitation agricole ou du paysage l'environnant, celle-ci peut aussi induire une réduction importante de la fourniture de certains services, comme par exemple la diminution d'habitats hébergeant des auxiliaires de cultures (Martin et al. 2019). Cependant, certaines méthodes de cultures telles que le mélanges d'espèces vont plutôt permettre d'assurer ou d'augmenter la présence de SE (Malézieux et al., 2009).

3.4- Mon rôle en tant que stagiaire

Le but de mon stage a été de réussir à mieux caractériser les formes d'agriculture en utilisant la contribution des SE et des intrants exogènes à la production agricole (la méthode développée est centrée exclusivement sur les SE à destination de la production agricole sans prendre en compte ceux destinés à la société). Ceci permettrait de placer des exploitations dans l'axe vertical du cadre conceptuel sur les formes d'agriculture développée par Olivier Therond et ses collaborateurs.

J'ai ainsi participé au développement d'une méthode d'évaluation basée sur une synthèse de la bibliographie d'une soixantaine d'articles issus de la littérature scientifique. Des indicateurs ont été choisis dans la littérature, afin de pouvoir estimer l'effet de la configuration du paysage ou de chaque type de pratique sur la fourniture de SE à l'agriculteur.

Une fois cette méthode stabilisée, des enquêtes ont été réalisées auprès d'agriculteurs en région Grand-Est afin d'en démontrer sa faisabilité pour identifier les différentes formes d'agriculture possibles.

Les problématiques que ce stage pose sont les suivantes :

- « *Comment évaluer la part de la production permise par les intrants anthropiques relativement à celle permise par les SE ?* »
- « *Quelles formes d'agriculture émergent d'un panel large et diversifié d'exploitations en région Grand-Est ?* »

De plus, nous faisons l'hypothèse que notre cadre conceptuel et nos méthodes d'évaluation permettent d'identifier finement les différentes formes d'agriculture sur le territoire Grand Est, et que les typologies classiques ne retranscrivent pas correctement la diversité des formes d'agriculture (en termes de pratiques et de configuration spatio-temporelle).

A travers ce mémoire, je commencerai par évoquer la revue bibliographique que j'ai effectué et comment j'ai orienté mes recherches. Puis, je mentionnerai les méthodes employées afin d'estimer la contribution des SE et des intrants exogènes à la production agricole. Ensuite, je présenterai les principaux résultats obtenus à partir des enquêtes réalisées et des discussions qu'ils engendrent. Enfin je conclurai sur ce travail de six mois et les perspectives que celui-ci suggère.

Méthodes utilisées

Dans cette partie, je détaille la méthodologie mise en place pour essayer de quantifier la contribution des intrants exogènes et des SE à la production agricole. Dans un premier temps, une recherche bibliographique a permis de mettre en lumière qu'il n'existait pas de méthode déjà développée permettant d'atteindre nos objectifs. Ensuite, la nouvelle méthode multi-indicateurs basée sur une synthèse de la littérature est présentée. Enfin, le raisonnement utilisé pour construire le questionnaire nécessaire au recueil des données d'enquêtes effectuées auprès des exploitants est décrit.

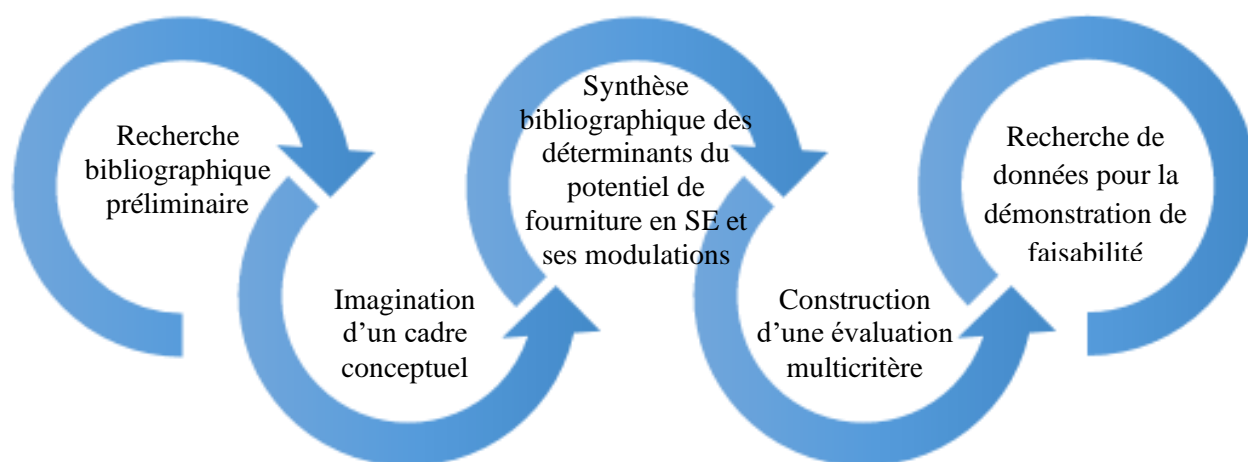


Figure 6 : Cheminement adopté pour la partie méthodologie

1- Recherche bibliographique préliminaire

1.1- Premières pistes envisagées

Pour quantifier la part de la production agricole permise par les intrants exogènes relativement à celle permise par les SE, une première piste envisagée a été de trouver une unité commune aux deux types d'intrants afin de déterminer quantitativement leur contribution respective.

Une recherche dans la littérature scientifique à partir d'une vingtaine d'articles choisis à dire d'expert (par Olivier Therond) a été effectuée afin d'identifier plusieurs méthodes utilisant des unités communes. Cependant, après une analyse fine de chacune de ces méthodes, il s'est révélé qu'elles pouvaient présenter de nombreuses limites conceptuelles et méthodologiques.

L'ensemble des problèmes rencontrés sont présentés ci-après :

La première méthode est l'«Emergy ». Celle-ci se fonde sur des principes de thermodynamiques en exprimant en énergie solaire (exprimée en « sej » pour Solar Emery Joules) les ressources pour la production d'un bien. Ces ressources peuvent être d'origine naturelle ou anthropique.

Cependant, l'Emergy considère comme entrées dans le système : l'énergie solaire, la chaleur interne de la Terre et l'énergie marémotrice comme étant les facteurs à la base de la création de la biodiversité et donc des SE (Wilfart 2012). Cette approche nous a semblé trop peu précise pour quantifier les SE fournis aux agriculteurs. En effet, beaucoup d'approximations sont réalisées pour pouvoir estimer l'unité commune utilisée : par exemple, la transformation d'unité monétaire en valeur d'énergie solaire, alors que ce type de valeur dépend principalement de l'offre et de la demande et des aléas du marché

économique. De plus, malgré la présence de deux bases de données (Emergy Society Database et National Environmental Accounting Database) sur les valeurs de transformité (coefficient de transformation de quantité de matière ou d'énergie en énergie solaire), aucune méthode de calculs de transformité n'est stabilisée. On remarque que la tendance est que les articles citent d'autres articles pour obtenir les valeurs de transformité sans réellement les vérifier (Hau et Bakshi 2004b).

La deuxième méthode relevée est l'« Exergy ». Comme l'Emergy, c'est une approche thermodynamique des SE. Néanmoins, contrairement à cette dernière elle a été développée par le secteur industriel et non l'écologie. Cette méthode prend en compte l'ensemble des flux présents dans les processus industriels mais aussi agricoles (Hau et Bakshi 2004a).

L'Exergy permet en plus de l'Emergy, d'estimer la réelle part d'énergie utilisée pour faire un travail et donc traduire l'efficacité d'un système.

Cependant, tout comme l'Emergy, les méthodes calculs de transformité ne sont pas uniformisées et la relation avec les SE reste peu définie.

Une autre stratégie possible était d'utiliser les analyses de cycles de vie qui permettent d'observer les impacts environnementaux d'un système tout au long de son cycle de vie. Après avoir analysé les différents articles traitant des SE, il s'est avéré qu'ils ne permettaient pas de modéliser les interactions entre l'environnement et les SE délivrés. De plus aucun ne permet de mesurer les effets des pratiques agricoles sur plusieurs SE en même temps (Othoniel et al. 2016). De surcroît, cette approche a recours à des méthodes très critiquées, qui ne font pas de liens directs avec les SE : utilisation de l'Exergy, de l'Emergy, de calculs d'empreintes écologiques et de productivité primaire. (Zhang, Singh, et Bakshi 2010).

Enfin, une dernière piste était celle des approches énergétiques se basant sur la production primaire nette. Malheureusement, des imprécisions ont pu aussi être observées.

La production primaire nette qui a pour unité des kilogrammes par hectare, est la résultante des effets de la température, des précipitations, des caractéristiques pédologiques et de la biodiversité.

La production primaire nette est reliée à la biodiversité mais pas directement aux SE. Ceux-ci sont en plus identifiés comme des biomes (toundra, grands lacs...) (Prince et al. 2001; Costanza et al. 2007).

1.1- Le déploiement d'une méthode

Face au constat de l'absence d'une méthodologie répondant à nos objectifs, il a été choisi de développer une méthode basée sur l'évaluation de la relation entre les propriétés du système agricole et les SE.

Plusieurs méthodes ont été parcourues : utilisation de modèles (STICS, RUSLE2,...), relevés directement au champ pour relier les traits biologiques à des SE (S. G. Potts et al. 2009)... Cependant, dans le temps imparti pour le stage, ces méthodes n'étaient pas réalisables. Nous avons donc décidé de construire une méthode par indicateurs et système de score pour traduire les effets des pratiques sur chaque service fourni à l'agriculteur.

2- Le cadre conceptuel

Le développement d'une nouvelle méthode d'évaluation des SE a nécessité d'identifier conceptuellement les objets mesurés. Lors de cette réflexion, nous avons identifié plusieurs types/niveaux de SE à décrire.

2.1- Les services écosystémiques fournis aux agriculteurs

Dans l'étude, huit SE ont été considérés à partir du rapport EFESE-EA et des tendances observées dans les premiers articles lus. Ces services sont les suivants :

- la pollinisation des plantes cultivées
- la régulation des adventices
- la régulation des maladies
- la régulation des insectes ravageurs
- la capacité de rétention en eau
- la structuration du sol
- la stabilisation du sol et le contrôle de l'érosion
- la fourniture du sol en éléments nutritifs (notamment en azote et en phosphore)

2.2- Les profils des services écosystémiques

Comme conceptualisé dans EFESE-EA, il est important de distinguer le potentiel de SE (capacité) délivré par un écosystème du niveau de SE effectivement utilisé par le bénéficiaire (de Groot et al. 2012; Young et al. 2017).

2.2.1- Le niveau potentiel de fourniture de SE

Le niveau potentiel de SE est déterminé par les caractéristiques biophysique de l'écosystème. De ce fait, cette capacité est déterminée directement par les pratiques de gestion des couverts végétaux (choix de la rotation, dates de semis, présence d'agroforesterie...) mais aussi des caractéristiques du sol (pH, composition en matière organique, texture...). De plus, comme expliqué ci-dessus, le paysage influence de manière significative le niveau de SE potentiel (EFESE-EA., 2017).

2.2.2- La modulation du potentiel de fourniture de SE

Dans un second temps, certaines pratiques de gestion de la biomasse et du sol (fertilisation, travail du sol, produits phytosanitaires...), réalisées en cours de campagne, peuvent venir moduler à la hausse ou à la baisse le potentiel initial de fourniture de SE durant cette campagne.

Ces pratiques peuvent soit avoir un effet néfaste à l'expression des SE dans la période considérée pour leur évaluation (utilisation d'insecticides qui modulent le niveau des SE de régulations biologiques en cours d'année) ou alors via leur action historique sur l'état de l'écosystème (effets des pratiques de travail du sol sur l'état organique du sol). Ces pratiques peuvent aussi être bénéfiques en améliorant le niveau de fourniture de SE (apport de matière organique, chaulage...) (EFESE-EA., 2017).

2.2.3- L'utilisation effective des services

En parallèle du niveau de fourniture en SE, modulé par les actions anthropiques, il est nécessaire d'évaluer le niveau réel d'utilisation des services. C'est à dire le niveau de SE effectivement transformé en avantage pour la production agricole (EFESE-EA., 2017). Cette utilisation effective des SE permet de comprendre leur intégration dans la réflexion des itinéraires techniques par les exploitants : un agriculteur qui présente une utilisation effective faible des SE, cherchera à les compléter par une utilisation importante d'intrants exogènes (et vice-versa).

2.2.4- La notion de capital naturel

La différenciation entre la capacité de fourniture de l'écosystème et le niveau d'utilisation effective d'un SE permet d'appréhender les situations de non-utilisation d'une partie du potentiel (lorsque la capacité de production de SE est supérieure à l'utilisation effective des SE). Par contre, elle ne permet pas d'identifier les situations de surexploitation et donc de dégradation des écosystèmes qui conduisent à une réduction des SE au fil du temps. Par exemple, des utilisations élevées de produits phytosanitaires peuvent avoir pour conséquence la diminution de la biodiversité, support des régulations biologiques, à moyen et long terme (vs. en cours de campagne). Il est alors question de dégradation du capital naturel support des SE à moyen et long terme (Robinson, Lebron, et Vereecken 2009). Cette notion permet de positionner l'analyse des SE dans une perspective de long terme et donc dans celle d'une gestion durable des écosystèmes qui se traduit par une conservation de leur capacité de production de biens et SE tout en assurant la reproduction de leur capital naturel. (EFESE-EA., 2017).

L'évaluation du capital naturel ne sera pas réalisée dans le cadre de mon stage. En effet, l'attention sur les SE a demandé un temps conséquent. Elle devra cependant être réalisée par la suite pour avoir une interprétation complète des relations pratiques agricoles - SE sur le court et moyen-long terme.

2.3- Synthèse et représentations

Sur la base des concepts présentés ci-dessus, nous avons développé un cadre conceptuel (figure 7) qui nous a guidé pour une meilleure compréhension de la fourniture des SE et de leur utilisation par les agriculteurs.

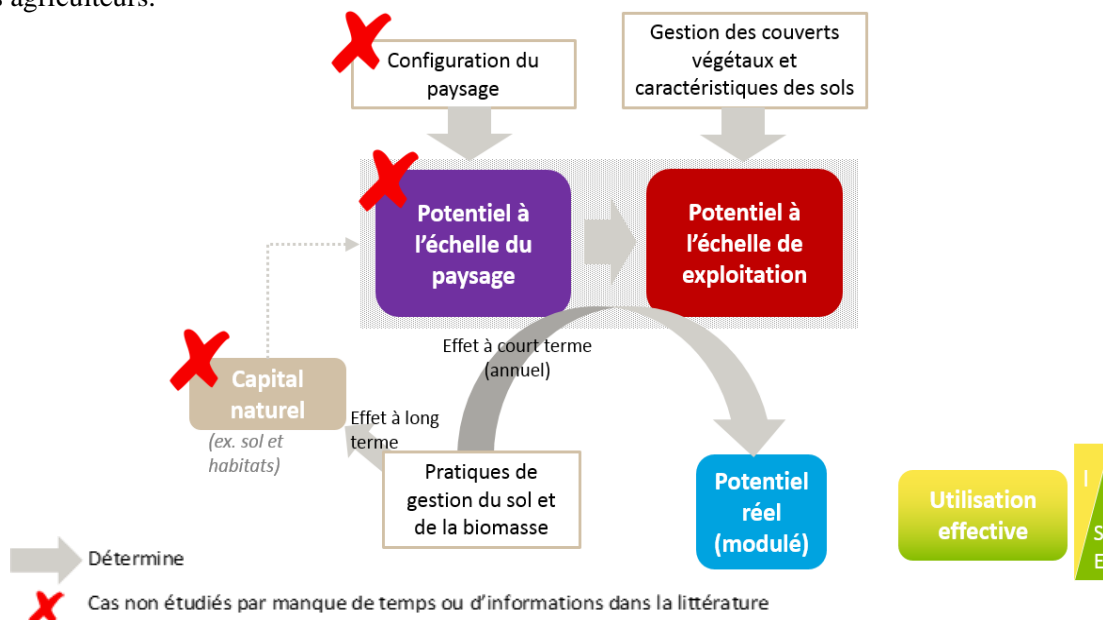


Figure 7 : Cadre conceptuel des déterminants du potentiel et de ses modulations (Manon Dardonville, Baptiste Legrand et Oliver Therond, com.pers. 2019)

Ce cadre conceptuel permet de distinguer les déterminants de la fourniture potentielle en SE (configuration du paysage, gestion des couverts végétaux et caractéristiques des sols et capital naturel), les facteurs de modulation de ce potentiel (pratiques de gestion du sol et de la biomasse ayant un effet à long terme sur le capital naturel et à court terme sur le niveau potentiel de fourniture) et l'utilisation effective de ces SE par l'agriculteur pour assurer sa production agricole.

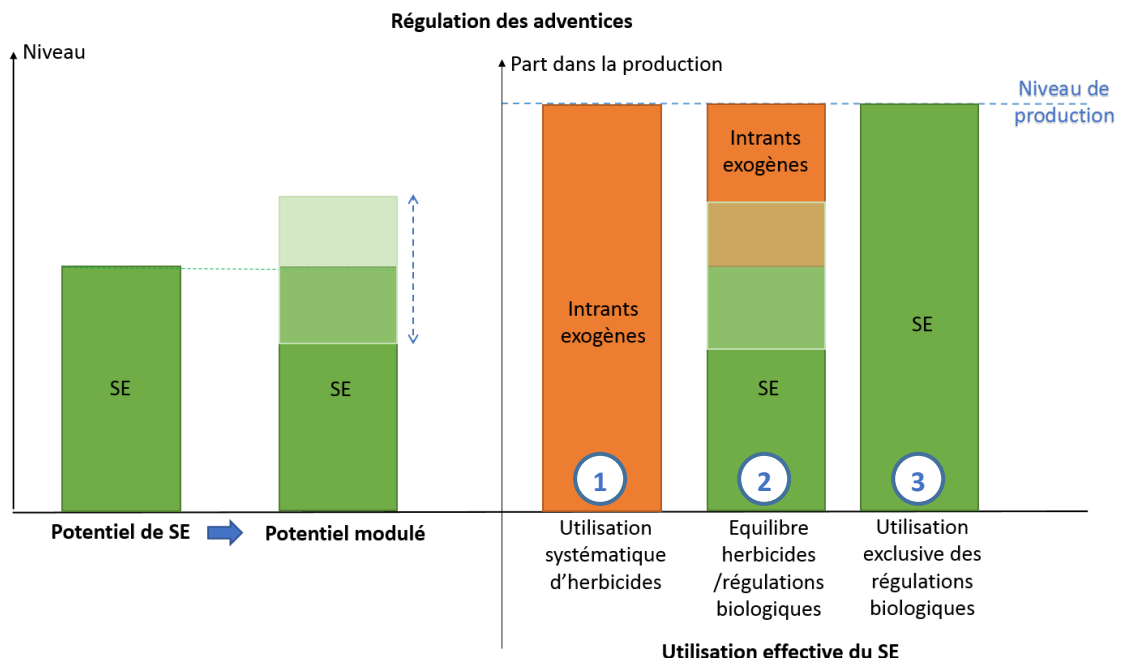


Figure 8 : Représentation de la modulation du service de régulation des adventices et de son utilisation effective (Manon Dardonville, Baptiste Legrand et Oliver Therond, com.pers. 2019)

Une autre représentation telle que proposée par la *figure 8*, permet de visualiser premièrement le niveau potentiel du service écosystémique (exemple ici de la régulation des adventices) et de sa modulation (positive ou négative) par les pratiques de l'exploitant.

Elle permet également de présenter les différents cas possibles quant à la part respective des SE et des intrants d'origine anthropique dans la réalisation de la production agricole :

- Cas n°1 : la lutte contre les adventices est assurée essentiellement par l'utilisation d'herbicides (exemple d'un type de lutte) afin de garantir le niveau de production. Dans ce cas, l'utilisation effective du SE de régulation de adventices est nulle. L'agriculteur choisit de ne pas considérer la présence de régulations biologiques dans son champ (ou présente un trop faible niveau de régulation) et décide alors de remédier aux problèmes d'adventices par l'utilisation d'intrants exogènes (herbicides ou travail du sol) à son écosystème.

- Cas n°2 : la lutte contre les adventices est raisonnée en fonction du niveau potentiel du SE de régulation des adventices. L'agriculteur intervient avec des intrants exogènes mais en complément du niveau de régulation existant dans sa parcelle. Il se sert alors pour partie de la régulation assurée par le SE qui constitue ainsi une utilisation effective de celui-ci, et de l'utilisation d'intrants anthropiques de type herbicide ou autre.

- Cas n°3 : la lutte contre les adventices est garantie à 100 % par l'utilisation effective du service de régulation des adventices. L'agriculteur choisit de ne pas intervenir, car pour lui le service écosystémique considéré remplit parfaitement son rôle, sans porter atteinte à la production agricole visée.

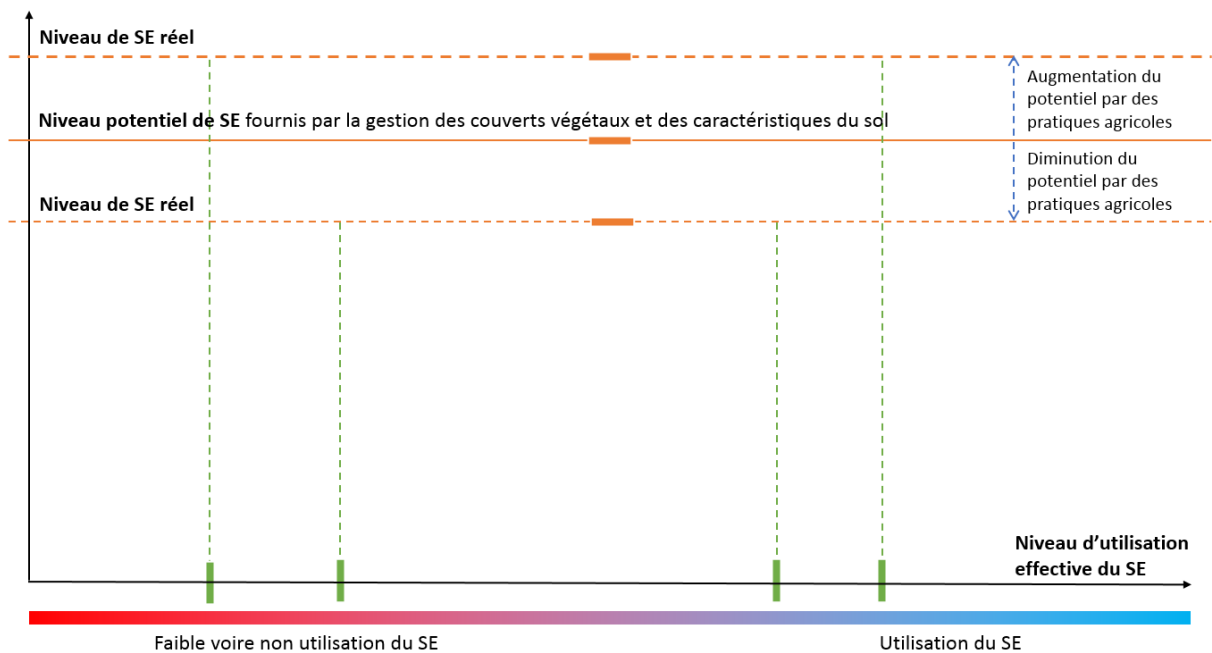


Figure 9 : Mise en relation du niveau potentiel de fourniture en SE et de son utilisation (Manon Dardonville, Baptiste Legrand et Oliver Therond, com.pers. 2019)

Face aux déterminants du niveau potentiel de fourniture de SE et les facteurs de modulation, on peut maintenant mettre en relation ces éléments avec le niveau d'utilisation effective des SE.

Par la représentation faite dans la *figure 9*, on observe que plusieurs cas de figures peuvent se présenter. En effet, il est important de noter que l'agriculteur peut soit, très peu prendre en compte les SE dans son raisonnement agronomique pour sa production quel que soit le niveau de SE réel (même élevé) ou alors maximiser totalement l'utilisation du faible niveau de fourniture en services de son écosystème.

3- Synthèse bibliographique sur les déterminants des potentiels de fourniture en SE et les facteurs de modulation

Considérant le cadre conceptuel présenté ci-avant, une recherche bibliographique a été réalisée pour identifier les déterminants du potentiel de fourniture des SE, à savoir la gestion des couverts végétaux et les caractéristiques du sol, mais aussi ce qui le modulait, à savoir les pratiques des exploitants.

Une soixantaine d'articles scientifiques sur les milieux tempérés ont été sélectionnés, majoritairement des *reviews*, des méta-analyses ou des études multi-sites, afin de recenser uniquement des effets solidement documentés et robustes à la diversité des contextes pédoclimatiques et de production. Ces articles ont été sélectionnés grâce à l'utilisation de *Google Scholar* ou de *Web of Science* en effectuant des requêtes avec des mots clés liés aux SE, pratiques agricoles, représentativité, localisation...

Une *review* est un article scientifique qui fait une synthèse qualitative de plusieurs travaux sur un domaine scientifique précis. Elle évoque les principaux résultats des études en montrant leur variabilité et amène à une discussion des travaux réalisés sur le domaine étudié.

Une méta-analyse est un article scientifique qui utilise les données de plusieurs études sur un domaine scientifique précis, pour estimer un effet d'un facteur sur un jeu de données important. Ce type d'article permet de faire une synthèse quantitative d'un ensemble de travaux portant sur le même sujet.

4- Construction d'une évaluation multicritère à partir d'indicateurs

Dans le but d'estimer la part respective des intrants exogènes et des SE dans la participation à la production agricole, j'ai identifié ou développé des indicateurs mesurant l'effet de déterminants et pratiques sur le niveau des SE.

4.1- Choix du système de notation

Le système de notation devait s'avérer simple, complet et facilement reproductible afin d'assurer sa mise en œuvre et son opérationnalité lors d'enquêtes en exploitation.

Le passage par une unité commune étant impossible, le choix s'est porté sur l'utilisation d'un système de scores avec des notes allant de 0 à 1 afin d'uniformiser l'ensemble des indicateurs.

Chaque indicateur a été créé en fonction des résultats qui ressortaient de la synthèse bibliographique. En effet, à chaque hypothèse attribuée à la fourniture potentielle d'un service écosystémique par un déterminant de la gestion de la couverture végétale ou des caractéristiques du sol, un indicateur a été identifié ou créé. Ce même cheminement a aussi été effectué pour la modulation de la fourniture en SE par les pratiques de gestion de la biomasse et du sol par l'agriculteur.

4.1.1- Système de notation pour le niveau potentiel de SE et sa modulation

La notation choisie comporte 5 échelons : 0 / 0,25 / 0,5 / 0,75 / 1

La note minimale étant 0 et la note maximale 1.

Pour chaque indicateur, il a été défini ce qui pouvait influencer la note, par exemple : plus un exploitant aura une gestion des couverts végétaux et des caractéristiques du sol bénéfiques à la fourniture en SE et plus la note s'approchera de 1. Concernant la modulation, suivant le type de pratique mise en place par l'agriculteur, celle-ci aura une note proche de 1 si elle améliore la fourniture d'un service écosystémique, ou alors sera égale à 0, voire se rapprochera de -1 au cas où elle serait néfaste à la fourniture d'un service.

Pour l'évaluation qui est mise en place, on considère comme point zéro et état initial le début de la campagne agricole étudiée et on considère que la résultante des pratiques passées (épandage de matière organique empirique, rotations ayant existées...) fait désormais partie intégrante de l'état de l'écosystème.

Note à attribuer	Nombre de périodes d'implantation
0	1 (très faible)
0,25	2 (faible)
0,5	3 (moyenne)
0,75	4 (élevée)
1	≥ 5 (très élevée)

Figure 10 : Exemple de notation pour le potentiel de fourniture de SE (ici effet de la rotation sur la régulation des adventices)

Note à attribuer	Pratiques de chaulage
-1	Si pH eau < 6,7 et pas de chaulage
0	Dans les autres cas

Figure 11 : Exemple de notation pour la modulation de fourniture en SE (ici effet du chaulage sur la fourniture en éléments nutritifs)

Il est important de noter que l'ensemble des notes ont le même poids dans la notation finale. En effet les connaissances dans la littérature sur le sujet, n'ont pas permis d'affecter des poids respectifs à chaque indicateur calculé.

Cette pondération devra être appliquée dans le futur, une fois les connaissances stabilisées.

4.1.2- Système de notation pour le niveau effectif de SE

Concernant le niveau d'utilisation effective des SE, tous les services ne sont pas pris en compte du fait qu'ils ne sont pas substituables par l'agriculteur (cas de la pollinisation et du contrôle de l'érosion). En effet, seule la fourniture en élément azote et phosphore, la régulation des adventices, maladies et ravageurs, la structuration du sol et la capacité de rétention en eau sont considérés.

Comme la littérature n'est pas assez aboutie sur ces questions, nous avons développé une notation basée sur des hypothèses sur les relations entre stratégie d'action des agriculteurs et prise en compte du potentiel de SE. Deux notes sont alors calculées pour chaque service afin d'estimer à la fois l'intensité des pratiques mises en place par l'agriculteur (pouvant substituer les SE), mais aussi pour déterminer la prise en compte des SE dans la réflexion de la construction de son itinéraire technique. La prise en compte des SE est une notation construite à partir des actions possibles pour évaluer le niveau de SE avant intervention de l'agriculteur. S'il ne prend pas du tout en compte les SE il ne fera aucune action au préalable et au contraire s'il les prend en compte, il pourra effectuer plusieurs tests (test bêche, comptage d'insectes, bilan azoté etc.) avant d'intervenir afin de venir compléter le service et non pas le remplacer.

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	½ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = ½ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > ½ Apport régional
1	Apport ≥ Apport régional

Figure 12 : Exemple de notation pour l'utilisation effective du SE de fourniture en élément azoté (ici notes d'intensité de fertilisation)

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,25	Intervention selon rotation/culture
0,5	Bilan azoté calculé
0,75	Utilisation méthode de précision Jubil/Farmstar/N-tester
1	Agriculture de précision : drone/coupeure de tronçons

Figure 13 : Exemple de notation pour l'utilisation effective du SE de fourniture en élément azoté (ici note de prise en compte du SE)

4.2- Construction d'un guide de notation

Une fois les indicateurs créés, j'ai rédigé un guide de notation afin de décrire l'ensemble des indicateurs développés. Celui-ci présente dans une première partie les différents indicateurs pour la partie potentiel de fourniture en SE. Ensuite, une deuxième partie comporte les indicateurs de modulation du potentiel de SE. Enfin, la troisième partie rassemble les indicateurs nécessaires à la notation de l'utilisation effective des SE.

Pour chaque indicateur, le principe est le même : il y a tout d'abord l'hypothèse générale à la base de la création de l'indicateur, puis les références bibliographiques qui l'appuient et enfin la méthodologie à suivre pour la notation.

Les indicateurs peuvent s'inspirer d'autres types d'évaluations multicritères notamment de contribution des systèmes de cultures au développement durable MASC 2.0 (*Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems*) (Craheix et al. 2011), ou alors de la création de système de notation spécifiquement lors de cette étude.

Les barèmes ont été définis en s'appuyant soit sur la littérature et des avis d'experts (cette pratique est mieux, donc lui attribuer la note de 1...), soit en prenant en compte des valeurs régionales ou seuil afin d'ensuite faire des classes équilibrées pour chaque note correspondante.

Les détails de chaque indicateur sont présents dans le guide de notation à la fin de ce document (*Annexe n°2*).

4.3- Traitement et représentation des résultats

4.3.1- Grilles de dépouillement et de calculs des indicateurs

Afin de traiter les données des exploitants enquêtés pour la démonstration de faisabilité de la méthode, une grille de dépouillement a été élaborée afin de répertorier l'ensemble des variables nécessaires aux différentes notations.

Ensuite deux grilles dédiées aux calculs des indicateurs de potentiel et de modulation ont été créées.

Une quatrième grille permet de faire les calculs de potentiels modulés en additionnant les valeurs de potentiel pour chaque service et la valeur de modulation qui y correspond.

L'outil *Excel* a été utilisé pour l'ensemble des grilles.

4.3.1- Normalisation des notes de potentiel et de modulation

Pour l'évaluation du potentiel de fourniture en SE une note est calculée pour chaque service. Cependant plusieurs indicateurs peuvent former la note finale d'un service, il faut alors la diviser par le nombre d'indicateurs qui la composent afin de faire une moyenne et ainsi obtenir une note de synthèse entre 0 et 1.

Pour l'évaluation de la modulation du potentiel de SE, le principe est le même avec cependant un barème qui change en fonction des indicateurs (entre 0 et 1 ou entre -1 et 0). Une exception est néanmoins possible pour l'effet synergique de l'agriculture de conservation : si elle est présente, un point supplémentaire est donné à la modulation des services qui en bénéficient, mais si elle est absente, il ne faut tout simplement pas la prendre en compte dans la valeur moyenne des modulations par service.

Au final, la note de potentiel modulé est comprise entre -1 et 2 selon les services. En effet dans les cas extrêmes, nous pouvons avoir un potentiel très faible et donc égal à 0 et une modulation importante à la baisse égale alors à -1. Dans le cas contraire, si le potentiel est très élevé avec une note de 1 et que la modulation par les pratiques de gestion de la biomasse et du sol sont excellentes du point de vue du service concerné, la note de modulation est de 1 et la note finale du potentiel modulé est alors de 2.

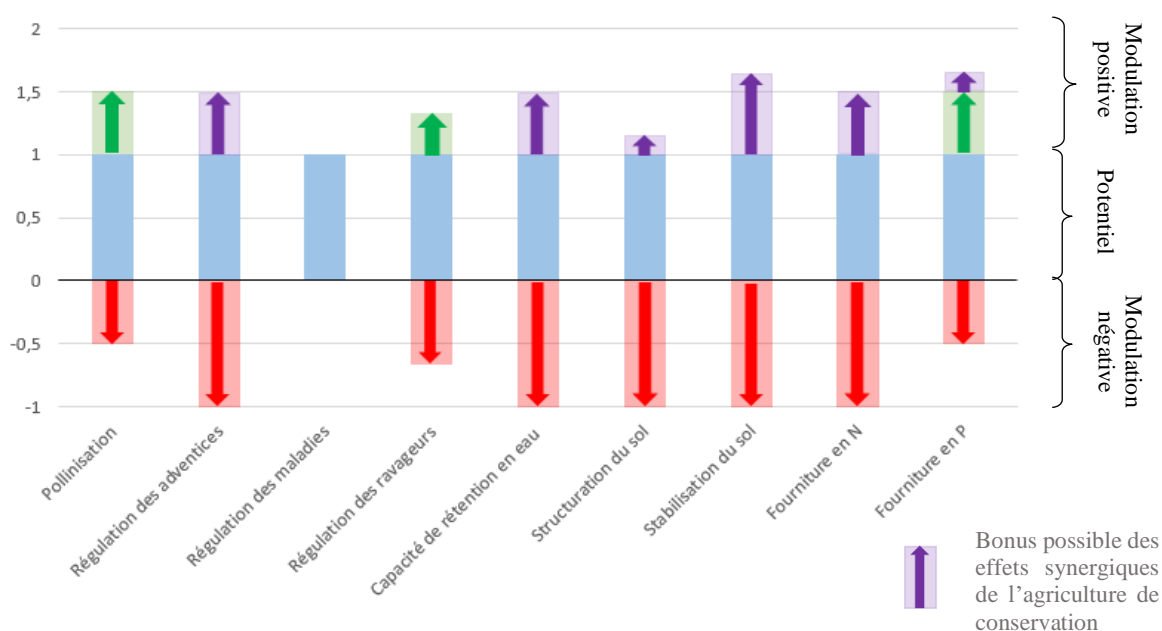


Figure 14 : Variation possible du potentiel modulé de chaque service écosystémique

4.3.2- Représentation des résultats

Pour chaque exploitation, il sera possible de représenter son niveau de potentiel et sa modulation pour chaque service tel que présenté figure 14.

Une autre représentation permettra de faire apparaître le niveau de potentiel modulé de l'exploitation pour l'ensemble de ses services, par rapport à la prise en compte des services et de l'intensité des pratiques mises en place par l'agriculteur. Ces deux représentations font office de synthèse de l'évaluation finale de l'exploitation et permettront de comparer les différentes exploitations entre-elles.

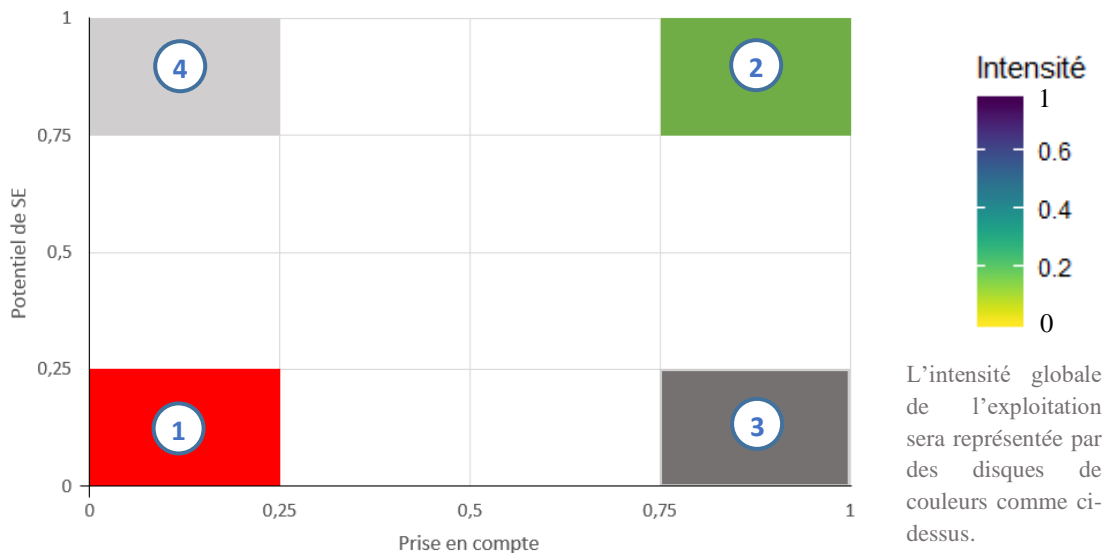


Figure 15 : Représentation finale de l'évaluation

La représentation de la *figure 15* permet d'identifier plusieurs cas de figure :

Pour le cas théorique n°1, nous sommes en présence d'un exploitant qui a une prise en compte faible voire absente des SE dans son itinéraire technique et d'un niveau de potentiel modulé de ses SE qui est aussi très faible voire absent. Si l'intensité des pratiques mises en œuvre par l'exploitant est élevée, nous sommes dans le cas où l'agriculteur compte essentiellement sur les intrants exogènes afin d'atteindre ses objectifs de production. De plus, cette intensité élevée peut révéler une modulation négative très forte (car les pratiques d'intensification sont aussi les plus nocives pour la biodiversité associée et support de la fourniture en SE) ce qui induit une diminution générale du niveau de SE. Cela va de pair avec un besoin important d'intrants d'origine exogène afin d'assurer le niveau de production souhaitée dû au faible niveau de SE présent. Par ailleurs, si l'intensité est faible, nous pouvons poser comme hypothèse que l'exploitation, par le paysage qui l'entoure ou alors par son historique très négatif sur le potentiel de SE, ne permet pas d'en bénéficier malgré une diminution des impacts au maximum par l'exploitant, mais aussi une absence de pratique visant à moduler ses SE à la hausse.

Dans le cas n°2, le niveau de potentiel modulé calculé par la méthode est très élevé tout comme la prise en compte des SE. On peut considérer dans ce cas, que l'exploitation a une utilisation optimale des services qui sont très présents dans son système. On s'attend à y retrouver les systèmes sans intrants d'origine anthropiques, basés sur aucun traitement phytosanitaire et un travail du sol réduit voire absent. Ces systèmes, complexes, utilisent au maximum les SE disponibles et leur production en dépend.

Concernant le cas n°3, la prise en compte des services par l'agriculteur est bien présente. Cependant on remarque que le niveau de SE de l'exploitation est très faible. Dans ce cas, si l'intensité des pratiques de l'exploitant est faible, on peut penser que celui-ci a pour volonté d'augmenter son niveau de SE et veut alors prendre en compte son niveau de SE actuel afin de l'intégrer à sa réflexion pour la constitution de son itinéraire technique. Cependant, si l'intensité de ses pratiques est élevée, on peut poser comme hypothèse que l'exploitant dégrade son niveau de SE (d'où un faible potentiel modulé) mais aussi qu'il a absolument besoin de cette forte intensité pour combler le faible niveau de SE qu'il prend en compte dans sa réflexion, afin d'atteindre ses objectifs de rendement.

Pour le cas n°4, le potentiel de SE de l'exploitation est très élevé, néanmoins la prise en compte de ceux-ci par l'exploitant est très faible. Dans ce cas, si l'intensité de l'exploitation est élevée, on peut penser que l'exploitant fait abstraction de la fourniture importante en SE qu'il bénéficie et mise sur l'utilisation d'intrants anthropiques pour atteindre ses objectifs de production. Cependant, si son intensité est faible, on peut comprendre que l'agriculteur utilise pleinement les SE pour atteindre ses objectifs de production sans toutefois les prendre réellement en compte dans la constitution de son itinéraire technique.

Enfin, pour tous les autres cas (cases blanches du schéma), nous sommes en présence de cas intermédiaires, et l'application de notre méthode à un jeu de données diversifié permettra de mieux comprendre les formes d'agriculture qui y seront positionnées.

5- Données pour la démonstration de faisabilité

Afin de valider la méthode créée, nous avons cherché à effectuer un test de faisabilité en appliquant la méthode à un jeu de données le plus diversifié possible.

5.1- Description et démarche pour le choix de l'échantillon

Pour identifier des exploitations à enquêter, une convention LAE-CRAGE a été signée afin de bénéficier des données du logiciel *MesParcelles* appartenant à la CRAGE (Chambre Régionale d'Agriculture Grand-Est). Ce logiciel est un outil de suivi des itinéraires techniques que chaque agriculteur qui le désire peut utiliser. Chaque conseiller partenaire devait choisir une dizaine d'exploitation sur son département, dont les données étaient bien renseignées sur *MesParcelles*, stabilisées, optimisées et qui représentaient toute la gamme des différentes exploitations présentes sur le territoire.

Il était demandé aux conseillers CRAGE de sélectionner des agriculteurs possédant des grandes cultures avec obligatoirement du blé tendre d'hiver. De plus, les exploitations devaient avoir un système stabilisé depuis au moins dix ans afin d'avoir des données qui reflétaient correctement les caractéristiques du système actuels.

Ces enquêtes ont pour but de tester la méthode imaginée et son pouvoir d'expressivité et de discrimination.

5.2- Recueil des données

5.2.1- Elaboration d'un questionnaire

Pour réaliser les enquêtes, j'ai constitué un questionnaire. Celui-ci est de type semi-directif : c'est-à-dire que l'enquêteur va orienter la discussion avec l'exploitant mais il n'y a pas d'obligation à suivre les questions dans l'ordre, une à une. L'intérêt est de comprendre le fonctionnement de l'exploitation avec des questions sur l'historique de l'exploitation, les itinéraires techniques, la répartition des parcelles, mais aussi sur la prise de conscience de la présence de SE ou non.

Pour construire le questionnaire, je me suis inspiré de la synthèse bibliographique et des indicateurs réalisés afin d'identifier les variables nécessaires pour le traitement des résultats. Le questionnaire est en annexe de ce document (*Annexe n°3*).

5.2.2- Protocole d'enquête

En premier lieu est demandé le(s) système(s) de cultures dominant(s) sur l'exploitation. Si le premier système qui est considéré dominant par l'agriculteur l'est pour des raisons économiques, il faut alors demander aussi quel est le système de culture dominant en termes de surface. Le système de culture dominant en termes de surface est traité en premier, puis s'il reste du temps d'enquête, le système de culture dominant économiquement est traité par la suite.

Pour chaque système de cultures, il faut identifier les parcelles homogènes :

- En termes de sol. S'il y a des grandes disparités, il faut traiter les parcelles avec des sols différents de manières séparées.
- Pour lesquelles des analyses de sol ont été réalisées.
- Qui ont reçu la rotation complète.
- Qui n'ont pas accueilli de cultures spéciales imprévues sauf si elles ont occupé moins de 20% de la taille de la parcelle et que le reste a été géré comme les autres parcelles.
- Qui ne sont pas particulières du fait de leur éloignement et donc n'ont pas une gestion différente des autres.
- S'il y a plusieurs ilots regroupés, prendre l'ilot le plus grand, le plus homogène en termes de gestion et de cultures.

Ces parcelles sont alors positionnées sur une carte. Ceci permettra d'aider l'exploitant à parler de ses parcelles et de leur localisation pendant l'entretien, mais aussi de calculer des indicateurs liés à leur proximité avec certains habitats via l'utilisation des données du RPG (Registre Parcellaire Graphique) et des photographies IGN (accessibles via le *Géoportail*, CF. guide de notation).

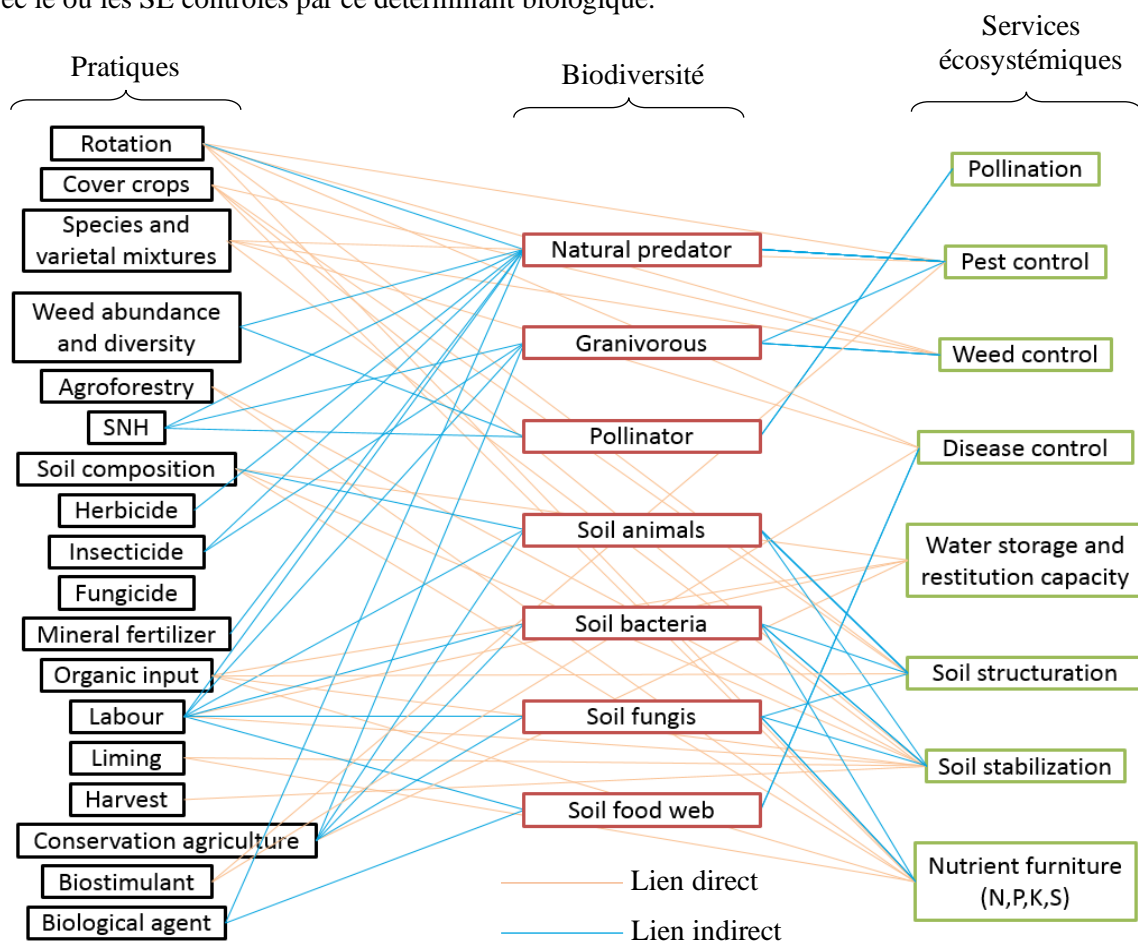
Résultats

Dans cette partie, je vais présenter les principaux résultats obtenus. Je commencerai par évoquer les éléments identifiés dans la synthèse bibliographique réalisée puis, le nombre d'agriculteurs finalement enquêtés et ensuite les principaux résultats obtenus pour les exploitations rencontrées, grâce au système de notation élaboré.

1- Résultats issus de la synthèse bibliographique réalisée

La synthèse de la bibliographie a permis de révéler qu'à l'heure actuelle, un grand nombre d'articles ne font encore pas le lien direct entre les pratiques de gestion de couverts végétaux et les caractéristiques du sol et les SE. En effet, beaucoup de recherches sont basées sur des approches de caractérisation des traits d'espèces et de la détermination des abondances d'organismes et des régulations associées. Peu étudient les déterminants agroécologiques des performances des systèmes agricoles et font le lien entre biodiversité et production (Therond et Duru 2019).

On distingue deux types de liens dans la littérature entre SE et pratiques agricoles (*figure 16*) : directs et indirects. Les liens directs décrivent l'effet d'une pratique sur le niveau du service. Les liens indirects mobilisent la biodiversité pour expliquer les relations entre pratique et service (par exemple : effet du travail du sol sur la perturbation des lombrics et ainsi sur la structuration du sol). Dans le cas de liens indirects, il était nécessaire de trouver des articles qui permettaient de faire le lien entre le déterminant biologique impacté par un type de gestion de la couverture végétale ou une caractéristique type de sol, avec le ou les SE contrôlés par ce déterminant biologique.



22

Figure 16 : Liens directs et indirects entre la gestion de la couverture végétale et les caractéristiques du sol, avec les services écosystémiques (Manon Dardonville, Baptiste Legrand et Oliver Therond, com.pers. 2019)

1.1- Les déterminants du potentiel de fourniture des SE

La bibliographie réalisée a révélé de nombreuses caractéristiques expliquant la fourniture potentielle de SE au sein d'une exploitation. Après avoir rassemblé l'ensemble des données recueillies, cinq grands types de déterminants ont été identifiés : la rotation culturale, la couverture du sol, le mélange d'espèces, l'agroforesterie et les habitats semi-naturels.

1.1.1- La rotation culturale

La rotation a un effet sur plusieurs SE. En effet, par sa diversité de cultures, celle-ci permet de rompre le cycle de développement des adventices avec des périodes de semis variées (Scholberg et al. 2010; Kleijn et al. 2019; Palomo-Campesino, González, et García-Llorente 2018). De plus, cette diversité de cultures et de périodes de semis joue un rôle primordial dans la diminution du niveau d'inoculum et la perturbation des cycles de vie des maladies (Scholberg et al. 2010). Cet effet de rupture de cycle est aussi observé dans de nombreux travaux sur les ravageurs des cultures (Kleijn et al. 2019; Palomo-Campesino, González, et García-Llorente 2018; Letourneau et al. 2011; Dassou et Tixier 2016). La fourniture en éléments nutritifs est un service écosystémique qui est aussi soumis à la présence de légumineuses dans la rotation. En effet, cette famille de culture permet de capter l'azote de l'air par fixation symbiotique et d'en restituer une partie au sol. Cette famille est aussi connue pour son pouvoir de solubilisation du phosphore, notamment par les enzymes de type phosphatase que composent sa rhizosphère (Hinsinger et al. 2011; El Mujtar et al. 2019; Bender, Wagg, et van der Heijden 2016; Ghosh et al. 2007; Tang et al. 2004; Hinsinger et al. 2011; Neumann et Römheld, 1999; Graham et Vance 2003; Pearse et al. 2006; Nuruzzaman et al. 2006).

1.1.2- La couverture du sol

La couverture du sol est un déterminant du potentiel de fourniture en SE. Lorsqu'une couverture du sol permanente est en place, plusieurs études mettent en avant une atténuation de la germination des adventices par compétition pour les ressources (lumière, nutriments) ou effet allélopathique. Plus une culture a une vitesse d'établissement importante et plus sa couverture lui permettra de rentrer en concurrence avec les adventices (Scholberg et al. 2010; Kleijn et al. 2019; Palomo-Campesino, González, et García-Llorente 2018).

Par ailleurs, la couverture du sol a un effet de structuration du sol en raison de la pénétration des racines. Un effet indirect peut aussi être identifié lorsqu'un *mulch* est laissé sur place afin de maintenir une certaine humidité du sol et ainsi participer au développement de champignons produisant de la glomaline, nécessaire à l'agrégation des particules de sol. Enfin, la qualité des exsudats racinaires, a une influence sur la stimulation de l'activité des populations rhizosphériques qui peuvent avoir un rôle clé dans la structuration du sol (Scholberg et al. 2010; Kleijn et al. 2019; Marschner, Crowley, et Yang 2004; Dennis, Miller, et Hirsch 2010).

Un effet est aussi observé sur la stabilisation du sol et le contrôle de l'érosion par la couverture du sol, tout comme sur la fourniture en éléments azotés par la présence de graminées et crucifères jouant le rôle de CIPAN (Justes, Beaudoin, et Bertuzzi, 2012).

1.1.3- Le mélange d'espèces

Le mélange d'espèces au sein d'une même parcelle a un effet sur le potentiel de régulation des adventices par une diversité de besoins augmentée et ainsi une compétition aux ressources avec les adventices (Malézieux et al., 2009.; Bedoussac et al. 2015; Duchene, Vian, et Celette 2017; Verret et al. 2017; Kleijn et al. 2019; Palomo-Campesino, González, et García-Llorente 2018).

Par effet de dilution et de barrière, le mélange d'espèces participe à la diminution des maladies et limite ainsi les attaques sanitaires majeures (Malézieux et al., 2009; Iverson et al. 2014; Bedoussac et al. 2015; Duchene, Vian, et Celette 2017).

Des travaux montrent aussi un rôle majeur du mélange d'espèces dans la régulation des ravageurs, par une dilution de leur pression et une perturbation des habitats ainsi que de leur dispersion. De plus, la diversification du nombre d'espèces dans une même parcelle permet d'avoir un ensemble de systèmes racinaires différents qui permettent de limiter les phénomènes d'érosion (Scholberg et al. 2010).

1.1.4- L'agroforesterie

L'agroforesterie se développe timidement dans le paysage agricole mais comporte de nombreux atouts quant à la fourniture de SE. Premièrement, la capacité de rétention en eau est améliorée de par la présence de systèmes racinaires différents ayant pour conséquence l'augmentation du volume de sol exploré par les racines. Par ailleurs, les arbres jouent un rôle d'ascenseur hydraulique (EFESE-EA, 2017).

L'agroforesterie permet aussi de mieux stabiliser le sol en raison du système racinaire conséquent des arbres et ainsi de lutter contre les phénomènes d'érosion. Enfin, s'il y a présence d'arbres appartenant à la famille des légumineuses, la fourniture en azote du sol se voit augmentée tout comme la fourniture en phosphore s'il y a présence d'arbres avec un pouvoir de solubilisation (Torralba et al. 2016).

1.1.5- Les habitats semi-naturels

Les habitats semi-naturels sont les forêts, haies et prairies qui composent les alentours des parcelles cultivées des exploitants.

Ces habitats permettent d'accueillir une grande diversité d'organismes. En effet, la strate herbacée favorise la présence de pollinisateurs de par sa richesse floristique, contrairement à la strate boisée. (Palomo-Campesino, González, et García-Llorente 2018; Bartual et al. 2019; Tschardt et al. 2005; Blaauw et Isaacs 2014; Tschumi et al. 2016; Zulian, Maes, et Paracchini 2013; Holland et al. 2017).

Les habitats semi-naturels peuvent aussi fournir un potentiel de régulation des adventices et des ravageurs dont peuvent bénéficier les parcelles des agriculteurs en fonction de leur éloignement avec ceux-ci (Bianchi, Booij, et Tschardt 2006; Letourneau et al. 2011; Bartual et al. 2019; Tschardt et al. 2007; Rega et al. 2018; Blaauw et Isaacs 2014; Tschumi et al. 2016).

1.1.6- Les caractéristiques du sol

La composition en matière organique et en argile des sols agricoles influence la fourniture de divers SE.

La matière organique traduit leur capacité à former des agrégats et ainsi participer à la porosité du sol nécessaire à la rétention en eau (Rawls et al. 2003; Gupta et Larson 1979; Bastet et al. 1998). L'effet de la matière organique dépend cependant fortement de la teneur en argile concernant la stabilisation et

la structuration du sol (Johannes et al. 2017). La minéralisation de matière organique détermine également le niveau de fourniture en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore (Bender, Wagg, et van der Heijden 2016; El Mujtar et al. 2019; Clivot et al. 2017).

1.2- Les facteurs de modulation de la fourniture en SE

La synthèse de la littérature scientifique effectuée a révélé qu'un ensemble de facteurs issus des pratiques de gestion de la biomasse et du sol par l'agriculteur, pouvaient moduler positivement ou négativement le potentiel de fourniture en SE. Au total, sept types de pratiques ou de systèmes de production ont été identifiés : l'utilisation d'insecticides, l'apport de matière organique, le chaulage, les récoltes en mauvaises conditions, le travail du sol, l'agriculture de conservation et la diversité intra-parcellaire due à la flore adventice.

1.2.1- L'utilisation d'insecticides

Les insecticides affectent plusieurs services qui sont sous-tendus par des organismes vivants. Ils peuvent ainsi nuire à l'activité des pollinisateurs en allant jusqu'à la perturbation de leurs fonctions vitales (Colin et al. 2004; Brittain et Potts 2011; Simon G. Potts et al. 2010). De plus, ils affectent des organismes comme les carabes qui régulent les adventices en consommant les graines présentes dans le sol (Emmerson et al. 2016; Labruyere et al. 2016). Les auxiliaires des cultures nécessaires à la régulation des ravageurs, sont aussi impactés (Emmerson et al. 2016; Desneux, Decourtye, et Delpuech 2007; Geiger et al. 2010), ainsi que les organismes qui structurent et homogénéisent les particules du sol tels que les vers de terre (Wang et al. 2012).

1.2.2- L'apport de matière organique

La matière organique joue un rôle dans les SE de par l'augmentation du stock de carbone dans les sols qu'elle permet en se décomposant. Ainsi, elle bénéficie aux services de rétention en eau grâce à la formation de macro-agrégats qui participent à la porosité, mais aussi à la structuration du sol et à la stabilisation de sol, permettant ainsi le contrôle de l'érosion (Liu et al. 2014; Khaleel, Reddy, et Overcash 1981; Paradelo et al. 2019; Diacono et Montemurro 2010).

Enfin, par sa dégradation la matière organique libère des éléments azotés et phosphorés qui participent à la fourniture en éléments nutritifs du sol (Liu et al. 2014).

1.2.3- La pratique du chaulage

Le chaulage (amendement calcique) permet de corriger le pH des parcelles agricoles. Par son effet de modification de pH entraînant une floculation des particules du sol, on peut remarquer qu'il a un effet sur la stabilisation du sol et sa structuration (Haynes et Naidu 1998).

Par ailleurs, le chaulage permet de maintenir un pH compris entre 6 et 7 qui est optimal pour l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les végétaux cultivés (Adams 1984).

1.2.4- La récolte en mauvaises conditions

Les récoltes en mauvaises conditions qui sont fréquentes pour des cultures telles que le maïs et la betterave lorsque le climat est assez pluvieux et que le sol est peu porteur. Ces conditions de récoltes

entraînent des déformations structurales du sol telles que des compactions qui limite la vie du sol et son effet sur la structuration.

1.2.5- Le travail du sol

Le travail du sol (fréquence et intensité) peut avoir un effet négatif sur les réseaux trophiques et la présence d'habitats pour les auxiliaires à l'origine de la régulation des ravageurs et des adventices (Kuntz et al. 2013; Trichard et al. 2014).

D'autre part, un travail du sol profond et de type labour bouleverse les canaux naturels permettant la circulation de l'eau et peut limiter la profondeur explorée par les racines dû à la présence d'une « semelle de labour ». Cette semelle est aussi à l'origine d'un tassement du sol, ce qui rend la bioturbation naturelle des vers de terre moins aisée. S'en traduit alors une structuration moins bonne et une plus forte sensibilité aux phénomènes d'érosion (Soane et al. 2012).

1.2.6- L'agriculture de conservation

L'agriculture de conservation sera le seul ensemble de pratiques considéré dans cette étude concernant la modulation du potentiel de SE. En effet, ce type de système affiche de nombreux travaux sur la synergie positive que créent l'allongement des rotations, la couverture permanente du sol et la réduction du travail du sol.

Cet effet synergique est observé sur plusieurs SE à savoir : la régulation des adventices, la capacité de rétention en eau, la structuration du sol, la stabilisation du sol et le contrôle de l'érosion et la fourniture en éléments azote et phosphore (Kuntz et al. 2013; Kleijn et al. 2019).

1.2.7- La diversité intra-parcellaire due à la flore adventice

La flore adventice d'une parcelle peut avoir des avantages quant à la modulation de la fourniture de certains SE. Elle compose un habitat diversifié pour les auxiliaires de cultures à savoir de pollinisation et de régulation des ravageurs (Dassou et Tixier 2016; Petit et al. 2015; Mézière et al. 2015; Marshall et al. 2003; Fried, Norton, et Reboud 2008; Trichard et al. 2013; Quinio et al. 2017).

Cette flore adventice est déterminée majoritairement par la fertilisation et le travail du sol.

1.3- Synthèse dans une base de données

Afin de faire la synthèse de l'ensemble de la bibliographie parcourue, j'ai développé une base de données. Celle-ci comporte les sources des articles scientifiques retenus, ainsi que leurs principaux résultats. Ces résultats sont référencés en fonction du type de gestion de couverts végétaux ou de caractéristique de sol étudié et son effet sur la fourniture potentielle du SE concerné (par exemple, l'effet de l'utilisation d'insecticides sur la pollinisation). Ce principe a été reproduit pour les pratiques de gestion de biomasse et du sol et leurs effets sur la modulation des potentiels de fourniture en SE.

La base de données étant conséquente, seule la version allégée avec les hypothèses est présente en annexe de ce mémoire (*Annexe n°1*).

2- Nombre d'agriculteurs enquêtés

Pour le stage, l'objectif était d'enquêter une quinzaine d'exploitants. Malheureusement, en raison d'un manque de réactivité de la part des conseillers CRAGE et de l'aboutissement de la convention, l'objectif a été revu à la baisse. Il a fallu mobiliser des contacts personnels en plus des quelques pistes proposées par les conseillers : au total, quatre exploitants ont été enquêtés.

3- Représentation des résultats par exploitation

Par souci de confidentialité, le nom des exploitants et des exploitations ne sera pas donné dans ce mémoire. Les exploitations seront alors identifiées par une lettre.

3.1- Exploitation A

La première exploitation enquêtée est située en Lorraine. Elle est de type polycultures-élevage avec 170 hectares de SAU. Concernant les grandes cultures, la rotation adoptée est la suivante : Colza – Blé tendre d'hiver – Orge d'hiver – Maïs – Tourmesol.

L'agriculteur qualifie son exploitation de type conventionnelle. Celui-ci a recours à un travail du sol basé sur le labour systématique en complément du déchaumage et l'utilisation d'une herse rotative pour le semis. De plus, le recours aux produits phytosanitaires et aux engrais minéraux est dans la logique de l'itinéraire technique.

L'exploitant sème néanmoins des couverts inter-cultureux dès que possible et utilise les effluents organiques de l'atelier animal pour les épandre sur les cultures.

Exploitation	Variable	Pollinisation	Régulation adventices	Régulation maladies	Régulation ravageurs	Rétention eau	Structuration du sol	Fourniture du sol en N	Fourniture du sol en P	Contrôle de l'érosion	Moyenne
A	Potentiel	0,63	0,39	0,33	0,47	0,10	0,38	0,41	0,38	0,25	0,37
	Potentiel modulé	0,38	-0,35	0,33	0,15	0,35	0,24	0,54	0,51	0,42	0,29
	Utilisation effective	NA	0,25	0,50	0,50	NA	0,00	0,25	0,50	NA	0,33
	Intensité	NA	0,85	0,30	0,60	NA	1,00	0,70	0,40	NA	0,65

Figure 17 : Synthèse des scores obtenus pour l'exploitation A

La note moyenne de potentiel de l'exploitation est de 0,37/1. On observe que la pollinisation a une note relativement élevée (0,63) due à la présence de nombreuses zones enherbées autour des parcelles de grandes cultures. Cependant les valeurs de régulation sont plus faibles en raison d'une rotation et d'une couverture générale des sols, qualifiées de moyennes pour ces SE, mais aussi un faible usage de mélanges d'espèces qui n'est utilisé que pour le couvert intermédiaire.

Les SE de rétention en eau, structuration du sol et contrôle de l'érosion ont des notes inférieures à 0,40. En effet, la composition en MO et en argile des sols n'est pas optimale du point de vue de ces services. Cette note est aussi influencée par l'absence d'agroforesterie et le faible nombre de cultures avec mélange d'espèces.

Enfin, les notes attribuées à la fourniture en azote et phosphore sont plus élevées en raison d'une composition du sol raisonnable de ces deux éléments et l'utilisation de légumineuses dans la rotation.

Concernant la modulation du potentiel (note de potentiel modulé égal à 0,29/1) par les pratiques de l'agriculteur, on remarque que celle-ci est légèrement inférieure au potentiel de départ.

On observe que l'IFT insecticide élevé a pour conséquence un impact négatif sur le potentiel de pollinisation, de régulation des adventices, de régulation des ravageurs et de structuration du sol. Le travail du sol impacte aussi négativement les potentiels de régulation des ravageurs et des adventices. Cependant, l'apport de MO réalisée à l'échelle de l'exploitation, permet une modulation à la hausse des SE dépendant du carbone (rétention en eau, structuration du sol, stabilisation du sol et contrôle de l'érosion) et de ceux dépendant de sa composition en éléments nutritifs (fourniture en N et en P). La pratique de chaulage en condition de pH <6,7 est aussi très favorable à ces services. Pour le SE de structuration du sol, on remarque au final que l'apport de MO n'arrive pas à compenser la modulation négative de l'apport conséquent d'insecticides.

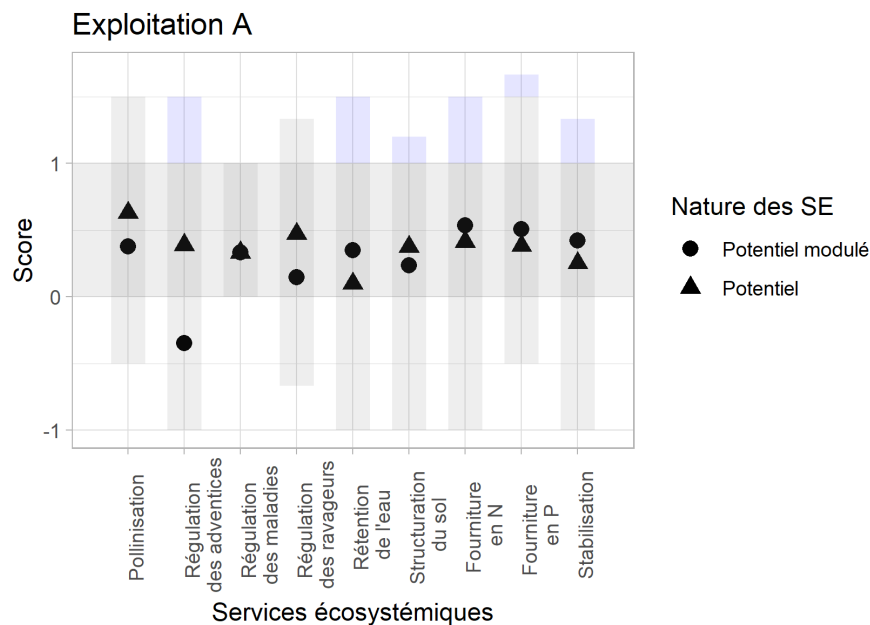


Figure 18 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation A

La figure 18 permet de visualiser rapidement dans quel cas l'exploitation a une modulation du potentiel positive par ses pratiques ou alors négative. Elle permet aussi de comprendre l'ampleur de ces modulations avec la distance séparant le potentiel de SE de départ et le potentiel modulé final. On remarque ici, que la pollinisation, la régulation des adventices et ravageurs ont subi des modulations fortes vers le bas, alors que les autres SE ont bénéficié de modulations moins importantes vers le haut.

3.2- Exploitation B

La seconde exploitation enquêtée est située en Alsace. Celle-ci est labellisée en Agriculture Biologique sur une SAU de 24,5 hectares. La rotation présente est : Soja - Blé tendre d'hiver – Maïs – Epeautre.

L'exploitant applique depuis plusieurs années les principes de l'agriculture de conservation à ses sols : il a diversifié sa rotation par rapport à celle du passé, il limite au maximum le travail du sol avec un passage de scalpeur à 5 cm de profondeur au maximum et enfin il cherche à avoir une couverture permanente de ses sols avec l'utilisation de nombreux couverts intermédiaires.

Due à sa labellisation en Agriculture Biologique, l'exploitant utilise des intrants d'origine organique et lutte contre les nuisibles avec l'utilisation de biostimulants ou a recours à du travail du sol de type binage.

Exploitation	Variable	Pollinisation	Régulation adventices	Régulation maladies	Régulation ravageurs	Rétention eau	Structuration du sol	Fourniture du sol en N	Fourniture du sol en P	Contrôle de l'érosion	Moyenne
B	Potentiel	0,28	0,44	0,37	0,49	0,25	0,38	0,36	0,35	0,27	0,35
	Potentiel modulé	0,28	0,37	0,37	0,44	0,50	0,43	0,48	0,48	0,44	0,42
	Utilisation effective	NA	0,50	0,50	0,50	NA	0,66	0,50	1,00	NA	0,61
	Intensité	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,01

Figure 19 : Synthèse des scores obtenus pour l'exploitation B

La note moyenne calculée pour l'ensemble des valeurs de potentiel de SE de l'exploitation est de 0,35/1.

On peut observer que la pollinisation a une note de seulement 0,28/1 en raison d'une faible abondance des surfaces herbacées à proximité des parcelles de l'exploitant. La régulation des adventices et des maladies révèlent un potentiel plus élevé due à l'utilisation de nombreux couverts intermédiaires multi-espèces et ainsi d'une couverture quasi permanente des sols malgré une rotation avec des dates de semis peu diversifiées. La régulation des ravageurs a une note de 0,49/1 en raison des nombreux mélanges d'espèces de la rotation et la présence d'habitats semis-naturels diversifiés.

En raison d'un taux d'argile faible et d'une composition du sol faible en MO par rapport aux paramètres des indicateurs et l'absence d'agroforesterie, les SE de rétention en eau, de structuration et de stabilisation du sol sont assez faibles. Les SE de fourniture en éléments nutritifs sont faibles aussi mais sont tout de même proches de 0,4/1 en raison de l'utilisation de légumineuses.

Le potentiel de cette exploitation est modulé positivement par les pratiques mises en œuvre (celui-ci est augmenté pour passer à 0,42/1). Ceci peut s'expliquer par l'apport important de matière organique (fiente de volaille et vinasses) dont bénéficient les SE de fourniture en éléments nutritifs, de structuration du sol et de contrôle de l'érosion. Celui de rétention en eau est aussi fortement augmenté en passant à 0,5/1 par l'augmentation progressive du taux de MO des sols de l'exploitant avec une restitution systématique des résidus de cultures et des couverts intermédiaires.

Enfin, en raison de l'absence d'utilisation de produits phytosanitaires, les SE de pollinisation, régulation des adventices, maladies et ravageurs se voient peu impactés.

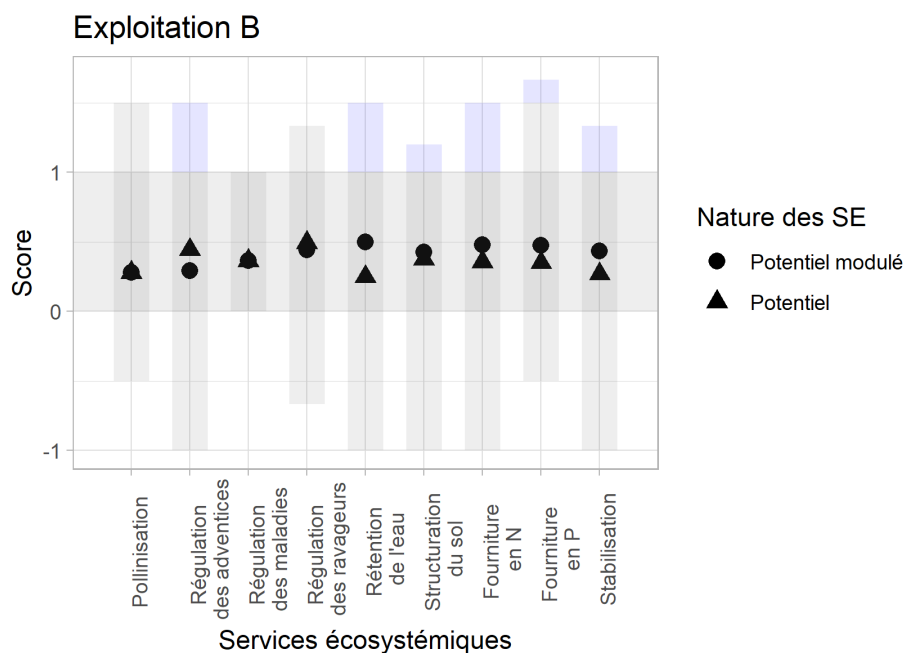


Figure 20 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l'exploitation B

On observe que l'exploitation B a des pratiques qui modulent positivement tous les SE à l'exception de celui de régulation des adventices dû au travail du sol qui reste présent. Malgré le fait que l'agriculteur

se dise en agriculture de conservation, le score qu'il obtient pour la rotation n'est pas suffisant selon la méthode pour lui attribuer le point de synergie lié à l'agriculture de conservation. En effet la diversité de sa rotation est assez faible.

3.3- Exploitation C

La troisième exploitation qui a pu être enquêtée est située en Champagne. Les céréales et les plantes industrielles sont l'activité-même de cette exploitation qui les cultive sur 145 hectares. La rotation adoptée par l'agriculteur est la suivante : Betterave – Orge de printemps – Colza d'hiver – Blé d'hiver – Orge de printemps – Chanvre en grain.

L'exploitation est qualifiée de conventionnelle par l'agriculteur, qui a recours au labour, l'utilisation d'intrants minéraux, de produits phytosanitaires et l'implantation de couverts intermédiaires.

Exploitation	Variable	Pollinisation	Régulation adventices	Régulation maladies	Régulation ravageurs	Rétention eau	Structuration du sol	Fourniture du sol en N	Fourniture du sol en P	Contrôle de l'érosion	Moyenne
C	Potentiel	0,13	0,55	0,58	0,51	0,13	0,39	0,30	0,17	0,27	0,34
	Potentiel modulé	-0,15	0,05	0,58	0,18	0,38	0,31	0,55	0,29	0,44	0,29
	Utilisation effective	NA	0,25	0,25	0,25	NA	0,00	0,50	0,50	NA	0,29
	Intensité	NA	0,84	0,55	0,69	NA	1,00	0,90	0,55	NA	0,77

Figure 21 : Synthèse des scores obtenus pour l'exploitation C

Le potentiel moyen calculé est de 0,34/1. On peut observer que le SE de pollinisation a une note très faible (0,13/1) en raison de la très faible présence de surface herbacées autour des champs de l'exploitant. Cependant les services liés aux régulations présentent des notes supérieures à 0,5/1 en raison d'une rotation très diversifiée et la présence de couverts intermédiaires denses et multi-espèces. Concernant les SE de rétention en eau et de contrôle de l'érosion, la note est plus faible due à l'absence d'agroforesterie et la faible teneur en MO des sols malgré de bonnes couvertures du sol et plusieurs mélanges d'espèces. Le SE de structure du sol, voit sa note proche de 0,4/1 grâce à la qualité des couverts implantés. Néanmoins, les SE de fourniture en éléments nutritifs présentent des notes faibles qui s'expliquent par l'absence de légumineuses dans la rotation et une faible teneur des sols en N et P.

La modulation du potentiel est en moyenne assez faible (-0,05/1). La pression phytosanitaire implique une modulation vers le bas des services de pollinisation, de régulation et de structuration du sol. Le travail du sol et les récoltes en mauvaises conditions impactent aussi négativement les services de régulation et de structuration. Cependant, l'enfouissement des résidus de cultures et des couverts permettent une modulation bénéfique pour les SE de rétention en eau et de fourniture en éléments nutritifs.

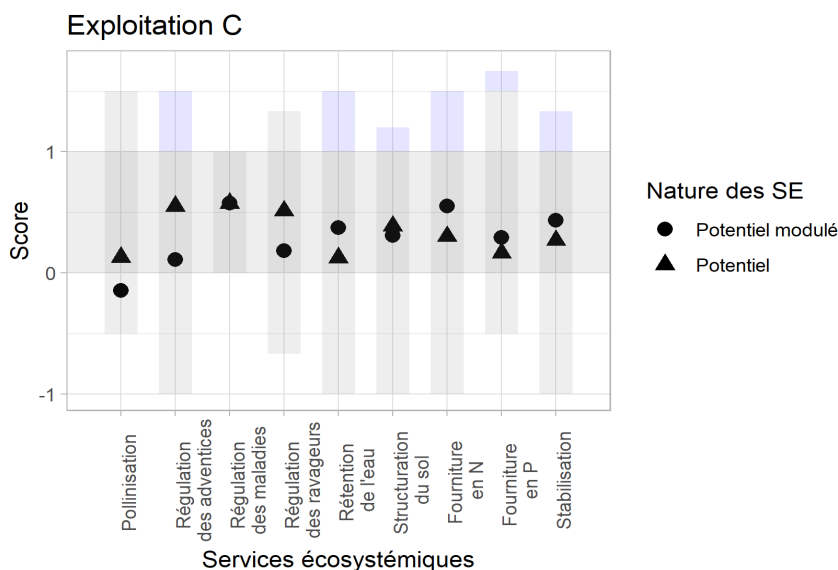


Figure 22 : Représentation du potentiel de départ et de modulation pour chaque SE de l'exploitation

La *figure 22* montre une modulation à la baisse assez importante des SE de régulation mais une modulation positive des SE liés aux caractéristiques du sol et aux éléments nutritifs.

3.4- Exploitation D

La quatrième et dernière exploitation enquêtée se situe tout comme la troisième en Champagne. L’exploitant cultive des céréales sur 62 hectares, qui suivent la rotation suivante : Vesce/Œillette – Blé tendre d’hiver – Escourgeon – Orge de printemps. L’agriculteur applique les principes des Techniques Culturelles Simplifiées visant à éviter le travail du sol par le labour. Il a recours aux intrants minéraux, à l’utilisation de produits phytosanitaires et apporte de la matière organique en plus des résidus de cultures laissés sur place.

Exploitation	Variable	Pollinisation	Régulation adventices	Régulation maladies	Régulation ravageurs	Rétention eau	Structuration du sol	Fourniture du sol en N	Fourniture du sol en P	Contrôle de l'érosion	Moyenne
D	Potentiel	0,00	0,53	0,34	0,31	0,13	0,38	0,36	0,28	0,24	0,28
	Potentiel modulé	0,28	0,27	0,34	0,40	0,38	0,44	0,49	0,28	0,41	0,36
	Utilisation effective	NA	0,25	0,25	0,25	NA	0,33	0,25	0,50	NA	0,31
	Intensité	NA	0,55	0,56	0,25	NA	0,50	0,75	0,75	NA	0,57

Figure 23 : Synthèse des scores obtenus pour l’exploitation D

Le potentiel de fourniture en SE de cette exploitation est de 0,28/1 en moyenne. Ce faible potentiel peut notamment s’expliquer par l’absence complète de surface herbacée à proximité des parcelles de l’exploitation (potentiel de pollinisation égal à 0/1) et des autres habitats semi-naturels (potentiel de régulation des ravageurs égal à 0,31/1). La diversité des cultures avec le couple Vesce/Œillette ainsi que les mélanges d’espèces des couverts d’intercultures, permettent un contrôle satisfaisant des adventices (0,53/1) et d’une plus faible manière des maladies (0,34/1).

Concernant les SE de rétention en eau et de stabilisation, on remarque que ceux-ci sont faibles dû au manque d’agroforesterie et des sols peu pourvus en MO. Néanmoins, le SE de structuration est un peu plus élevé grâce à l’utilisation de mélanges d’espèces dans les couverts.

L’absence de légumineuses laisse paraître une fourniture en N et P faible (0,36/1 en N et 0,28/1 en P).

La modulation du potentiel de fourniture en SE est positive (elle passe de 0.28/1 à 0.36/1) grâce aux pratiques que met en place l’exploitant. En effet, par des IFT réduits, l’exploitant a un impact modéré sur la pollinisation et les services de régulation. De plus, le raisonnement appliqué au désherbage permet un développement d’une flore intra-parcellaire ayant pour finalité l’augmentation du potentiel de pollinisation et de régulation des ravageurs. Cependant le travail du sol étant quand même présent, la régulation des adventices en est impactée.

Nous remarquons enfin que l’apport de matière organique joue un rôle important dans les SE de rétention en eau, structuration du sol, contrôle de l’érosion mais aussi de fourniture en éléments azotés.

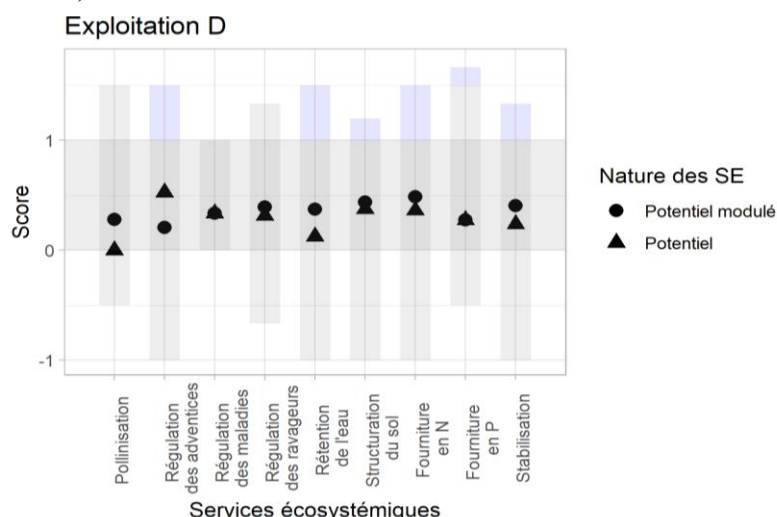


Figure 24 : Représentation du potentiel de départ et de sa modulation pour chaque SE de l’exploitation D

On observe que l'exploitation réussie à augmenter l'ensemble de ses potentiels de SE excepté celui de régulation des adventices.

4- Résultats globaux

4.1- Modulation du potentiel de SE

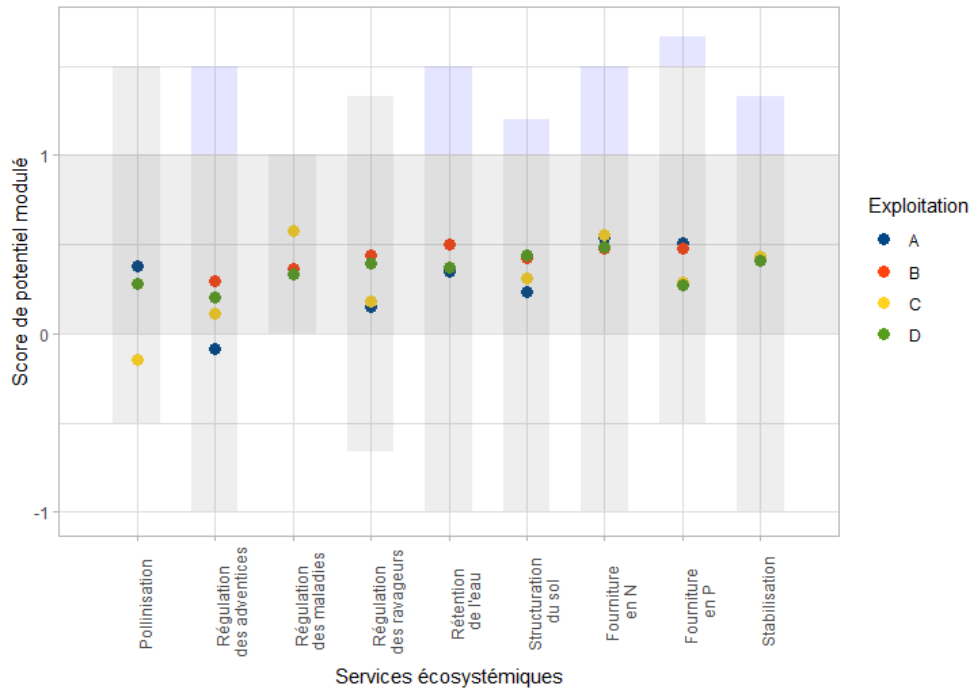


Figure 25 : Représentation des potentiels modulés de chaque SE pour chaque exploitation

La représentation de l'ensemble des potentiels modulés de toutes les exploitations (figure 25), permet de mieux appréhender quels systèmes sont les plus bénéfiques à certains SE où alors au contraire, présentent des potentiels de fourniture modulés très faibles.

Dans un premier temps, nous pouvons observer que les SE dépendant pour partie des habitats semi-naturels ne sont pas dépendant d'un système de production en particulier. En effet, sur ce type d'habitat, soit l'agriculteur n'a que très peu de possibilités de gestion car ceux-ci peuvent être sur des parcelles qui ne lui appartiennent pas, soit il en crée en ayant des surfaces qualifiées d'intérêts écologiques (SIE). En effet, les exploitations A et C ont un IFT insecticide élevé, mais l'exploitation A permet de palier l'effet négatif de ce type de produit phytosanitaires grâce à la forte présence de surfaces enherbées autour de l'exploitation, ce que n'a pas l'exploitation C.

Concernant les autres SE, on remarque que les exploitations qui abandonnent ou diminuent l'utilisation des produits phytosanitaires (exploitations B et D) ont des notes de régulations d'adventices et de ravageurs et de structuration du sol plus élevées, contrairement aux exploitations qui les maintiennent (A et C). Cet effet est aussi observé lorsqu'il y a une diminution du travail du sol pour les SE de régulation précédemment cités.

Par ailleurs, les exploitations basées sur une diversification de leurs cultures (B et C) voient leurs services de régulation des adventices et des maladies améliorés.

Enfin, les agriculteurs qui ont une volonté forte de ramener du carbone dans leurs sols (B) et qui dépendent des apports de matière organique (A), ont des SE de rétention en eau et de fourniture en éléments P plus élevés.

Les services modulés de fourniture en élément N et de stabilisation du sol, ne présentent pas des résultats discriminants en fonction des exploitations enquêtées.

4.2- Utilisation effective des SE

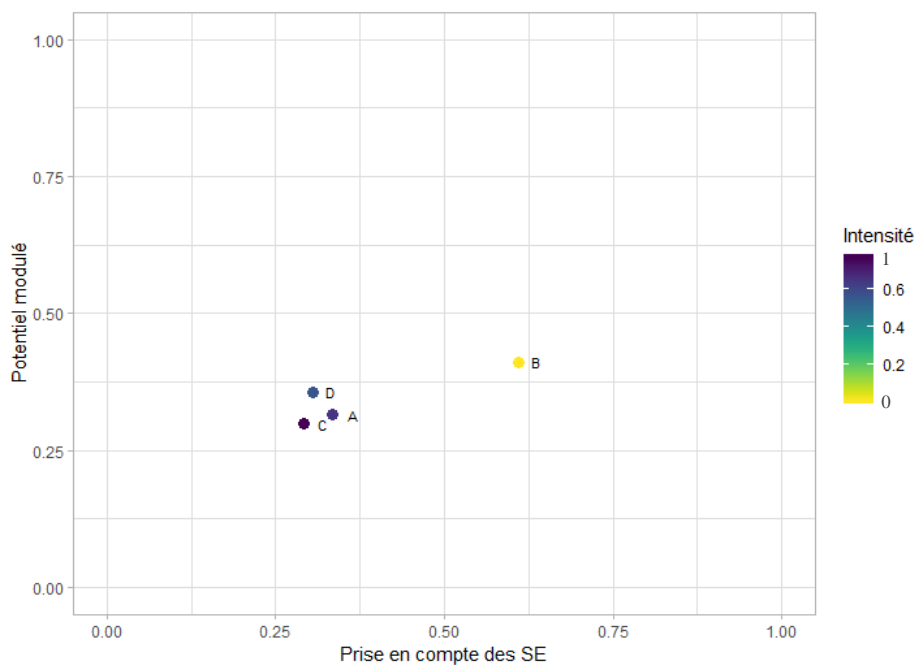


Figure 26 : Représentation de l'intensité et de la prise en compte des SE par rapport à leur potentiel modulé, pour toutes les exploitations

La figure 26 synthétise le potentiel modulé moyen total de chaque exploitation en fonction de la prise en compte des SE dans l'itinéraire technique des exploitants et de l'intensité de leurs pratiques mises en place.

On observe qu'un groupe de trois exploitations (A, C et D) s'est formé. Ce groupe se caractérise par un potentiel modulé de fourniture en SE compris entre 0,25/1 et 0,37/1. De plus, la prise en compte des SE par ces exploitations pour leur réflexion de leur itinéraire technique est elle aussi comprise entre 0,25/1 et 0,37/1. Cependant, l'élément qui saute aux yeux est que ces trois exploitations ont en commun une intensité élevée dans leur pratiques (supérieure à 0,5).

Nous pouvons poser comme hypothèse que ce groupe est caractérisé par une prise en compte faible des SE dans leur réflexion pour atteindre leur objectif de production. Ces exploitations misent sur l'utilisation d'intrants exogènes qui malheureusement ont pour conséquence une modulation négative du niveau potentiel de SE.

Par ailleurs, l'exploitation B se détache du groupe formé des trois autres exploitations.

Cette exploitation a un potentiel modulé plus élevé (0,4/1) et une prise en compte plus conséquente des SE (0,6/1) dans la réflexion des interventions culturales. De plus cette exploitation a une intensité d'utilisation des intrants exogènes presque nulle (0,1/1), qui va en faveur de la fourniture de SE.

Avec seulement quatre exploitations, la comparaison est faiblement puissante. Cependant on remarque que suivant les pratiques mises en place par les exploitants, des formes d'agriculture se dégagent.

Enfin, afin d'aller au bout de la réflexion pour mieux caractériser ces formes en fonction de l'utilisation effective des SE, il serait intéressant de moduler la notation finale par les rendements moyens obtenus dans le but de faire des comparaisons par intensité de production normalisée.

Discussion

Cette partie a pour objectif de prendre du recul sur les méthodes développées et testées et les principaux résultats obtenus. Je commencerai par évoquer les critiques qui peuvent être faites sur les entretiens menés et la recherche d'exploitants. Ensuite, je parlerai de la méthodologie de notation développée avec ses atouts et les premières limites observées. Enfin, je terminerai par les finalités possibles de l'outil créés et son intérêt auprès de différents acteurs.

1- Préparation et réalisation des enquêtes

Pour cela, une convention LAE-CRAGE prometteuse a été signée. Cependant, trop d'espoirs ont été fondés sur cette convention qui a de la peine à être mise en œuvre en raison de la complexité hiérarchique des circuits de validation.

De fait, un retard a été pris pour la prise des premiers contacts qui a été réalisée fin juin alors que la préparation des moissons et leur début occupaient le planning des agriculteurs, jusqu'à août avec les semis de colza. Il a alors été très difficile de trouver des exploitants en mesure de nous recevoir.

Concernant la réalisation des enquêtes, les entretiens étaient facilement réalisables en 2h-2h30 à conditions que les exploitants adhèrent à l'outil *MesParcelles*. Dans le cas contraire et suivant la taille des exploitations, les entretiens peuvent durer entre 2h30 et 3h.

L'ensemble des variables dont nous avons besoin pour calculer les indicateurs étaient totalement récupérables grâce aux différentes questions posées. Néanmoins, il est important de prévenir les agriculteurs quelques jours avant l'entretien afin de préparer des documents tels que les analyses de sol.

Au final, seulement quatre exploitants ont accepté de participer à un entretien dans la période de l'été. Ceci est peu mais a permis de tester la faisabilité et la robustesse de la méthode et son pouvoir d'expressivité. En effet, il s'agissait de quatre exploitations très différentes qui ont permis de pointer les forces et limites de l'outil développé et ainsi d'identifier des voies d'améliorations.

2- Méthodologie de notation

L'outil créé est le premier qui permet de faire le lien entre les pratiques agricoles et les services écosystémiques. Il est le premier à mettre des chiffres sur les effets de la gestion des couverts végétaux et les caractéristiques du sol sur la fourniture en SE et la modulation réalisée par les pratiques culturales des exploitants.

De plus, il s'avère que cet outil s'avère opérationnel et abouti à des résultats doués de sens et de questionnements. Il permet en effet de distinguer deux « formes » d'agriculture à partir des quatre exploitations enquêtées : une première forme qui se base sur l'utilisation d'intrants d'origine anthropique avec une forte intensité, ce qui a pour conséquence une modulation négative des SE ; une deuxième forme qui se base sur l'utilisation des SE et n'utilise pas d'intrants d'origine anthropique, ce qui permet d'augmenter la fourniture en SE.

Il reste néanmoins des impasses que le développement de l'outil devra surpasser à l'avenir. En effet, en tant que tel, les interprétations de l'outil sont à prendre avec précaution. La plus importante critique qui peut lui être faite est l'absence de pondération des indicateurs pour la note finale, étant donné qu'il n'existe pas à l'heure actuelle, des connaissances assez fiables dans la littérature scientifique qui indique

quelles pratiques agricoles ont plus d'influencent que d'autres sur les SE. En plus de l'absence de pondération, la littérature scientifique ne permet pas non plus de quantifier la part réelle d'un service qui est utilisée pour la production agricole, ni même s'il y a ou pas utilisation d'un service lorsqu'un exploitant pense le substituer par un intrant exogène (par exemple, cas de la régulation des adventices et de l'utilisation d'herbicides). La quantification réelle de la modulation des pratiques sur les potentiels de SE est elle aussi, encore trop délicate.

Certains indicateurs restent à améliorer et à affiner sur la base de recherches complémentaires dans la littérature ou d'expérimentations sur le terrain. Avec notamment la prise en compte de l'effets des pratiques sur le capital naturel.

Par ailleurs, la notation en elle-même nécessiterait d'être soumise à un groupe d'experts pour une confrontation supplémentaire sur le sujet afin de décider du sort de certains indicateurs et d'évaluer si les barèmes établis ne sont pas trop sévères. Ceux-ci ont été calculés à partir de la valeur optimale de chaque indicateur, qui pouvait être recensée dans la littérature. Néanmoins, il serait intéressant de voir si une exploitation réunissant des notes parfaites pour chaque indicateur existe réellement afin de ne pas être dans une utopie et avoir besoin de réévaluer les barèmes en se rapprochant plus de la réalité.

3- Finalités de l'outil

3.1- Outil dédié aux agriculteurs et aux acteurs du monde agricole

Grâce à l'outil créé, une finalité possible serait de l'utiliser comme appui pour du conseil auprès des exploitants mais aussi des acteurs du monde agricole afin de mieux comprendre les relations entre les systèmes de production et les SE qui les sous-tendent plus ou moins fortement. L'outil pourrait être utilisé comme un bilan de performances des exploitations afin que les agriculteurs puissent répondre à ce type de questions :

- *Est-ce que ma ferme a un bon potentiel de fourniture de SE ? Comment l'améliorer ?*
- *Est-ce que mes pratiques sont néfastes ou bénéfiques à ce potentiel ? Comment les améliorer ?*
- *Est-ce que j'utilise ces SE ou je me base plutôt sur des intrants ? Comment augmenter le niveau des SE effectifs ?*
- *Quels sont les effets de mes pratiques sur mon capital naturel et donc sur le niveau de SE à long terme ? Quelle stratégie pour conserver ou amplifier ce capital*

3.2- Outil d'évaluation pour les conditionnalités de la PAC

Un autre type de finalité imaginée serait de faire de l'outil un moyen d'évaluer les exploitations quant à leur modulation positive ou négative sur les SE. La Politique Agricole Commune a mis en place depuis plusieurs années les Mesures Agro Environnementales qui sont aujourd'hui fortement critiquées en raison de leur faible efficacité en termes de protection de l'environnement. La PAC cherche alors à développer les PSE (Paiement pour Services Environnementaux) pour être plus incitatifs au changement de pratiques (Duval et al., 2016).

Dans ce cadre, l'outil d'évaluation développé serait pertinent afin de déterminer concrètement quelles exploitations pourraient en bénéficier ou les objectifs à atteindre pour qu'elles puissent recevoir les subventions.

Conclusion

Les nouveaux enjeux auxquels le monde agricole doit et devra faire face, impose un souci de compréhension du fonctionnement des exploitations agricoles qui voit une diversification de ses pratiques culturales se mettre en place. Les termes simplistes et dichotomiques que sont l'agriculture « biologique » et l'agriculture « conventionnelle », étant à l'heure actuelle les seules catégorisations existantes des formes d'agricultures, deviennent inadaptés.

Le présent mémoire fait la synthèse d'un stage de 6 mois de fin d'études d'Ingénieur Agronome au sein du Laboratoire Agronomie et Environnement de l'INRA de Colmar. L'objectif du stage était de développer une méthode permettant de caractériser les systèmes de production (forme d'agriculture) en fonction du rôle et poids des intrants exogènes et des services écosystémiques.

Pour cela j'ai participé au développement d'une méthode de caractérisation des formes d'agriculture via l'estimation des relations entre caractéristiques des systèmes de production et niveau de services écosystémiques fournis à l'agriculteur, considérés ici comme des facteurs de production.

Pour développer cette méthode, une synthèse de la littérature scientifique sur le sujet a été réalisée à partir d'une soixantaine d'articles. Cette synthèse a permis d'identifier les grands déterminants de (i) la fourniture potentiel, (ii) la modulation de ce potentiel par les pratiques agricoles et (iii) l'utilisation effective de ces services pour atteindre l'objectif de production.

Un système de notation a ensuite été développé afin d'évaluer service par service ces relations. Il a été testé sur quatre exploitations pour démontrer sa faisabilité et la pertinence des résultats obtenus. Ceux-ci permettent de visualiser l'influence du mode de gestion de la couverture végétale et des caractéristiques du sol mais aussi des pratiques culturales mises en place, sur la fourniture en services écosystémiques.

La relation qu'ont les exploitants avec ces services est aussi déterminée en fonction de leur prise en compte dans leur itinéraire technique et suivant l'intensité qu'ils allouent à leurs pratiques.

Enfin, ce stage était un excellent stage de fin d'études. En effet, son contenu demandait une mobilisation conséquente de l'ensemble des connaissances agronomiques apprises durant mon cursus, et de les approfondir pour apporter des éléments aux diverses réflexions rencontrées.

BIBLIOGRAPHIE

Articles et ouvrages

- Adams, Fred, éd. 1984. *Soil Acidity and Liming*. 2nd ed. Agronomy, no. 12. Madison, Wis., USA: American Society of Agronomy.
- Bartual, Agustín M., Louis Sutter, Gionata Bocci, Anna-Camilla Moonen, James Cresswell, Martin Entling, Brice Giffard, et al. 2019. « The Potential of Different Semi-Natural Habitats to Sustain Pollinators and Natural Enemies in European Agricultural Landscapes ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 279 (juillet): 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.009>.
- Bastet, G, Ary Bruand, P Quéting, et Isabelle Cousin. 1998. « Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert (FPT): une analyse bibliographique ». *Étude et Gestion des Sols*, 25.
- Bedoussac, Laurent, Etienne-Pascal Journet, Henrik Hauggaard-Nielsen, Christophe Naudin, Guenaelle Corre-Hellou, Erik Steen Jensen, Loïc Prieur, et Eric Justes. 2015. « Ecological Principles Underlying the Increase of Productivity Achieved by Cereal-Grain Legume Intercrops in Organic Farming. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 35 (3): 911-35. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>.
- Bender, S. Franz, Cameron Wagg, et Marcel G.A. van der Heijden. 2016. « An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability ». *Trends in Ecology & Evolution* 31 (6): 440-52. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>.
- Bengtsson, Jan. 2015. « Biological Control as an Ecosystem Service: Partitioning Contributions of Nature and Human Inputs to Yield: Ecosystem Services and Human Inputs ». *Ecological Entomology* 40 (septembre): 45-55. <https://doi.org/10.1111/een.12247>.
- Bianchi, F.J.J.A, C.J.H Booij, et T Tscharrntke. 2006. « Sustainable Pest Regulation in Agricultural Landscapes: A Review on Landscape Composition, Biodiversity and Natural Pest Control ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273 (1595): 1715-27. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>.
- Blaauw, Brett R., et Rufus Isaacs. 2014. « Flower Plantings Increase Wild Bee Abundance and the Pollination Services Provided to a Pollination-Dependent Crop ». Édité par Yann Clough. *Journal of Applied Ecology* 51 (4): 890-98. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12257>.
- Blandin Patrick, *De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité*. Editions Quæ, « Sciences en questions », 2009, 128 pages. ISBN : 9782759203062. DOI : 10.3917/quæ.bland.2009.01. URL : <https://www.cairn.info/de-la-protection-de-la-nature-au-pilotage-de-la-bi--9782759203062.htm>
- Bommarco, Riccardo, David Kleijn, et Simon G. Potts. 2013. « Ecological Intensification: Harnessing Ecosystem Services for Food Security ». *Trends in Ecology & Evolution* 28 (4): 230-38. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>.
- Boulaine Jean. *Histoire de l'Agronomie en France*. In: Économie rurale. N°218, 1993. pp. 40-41.

- Brittain, Claire, et Simon G. Potts. 2011. « The Potential Impacts of Insecticides on the Life-History Traits of Bees and the Consequences for Pollination ». *Basic and Applied Ecology* 12 (4): 321-31. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.12.004>.
- Clivot, Hugues, Bruno Mary, Matthieu Valé, Jean-Pierre Cohan, Luc Champolivier, François Piraux, François Laurent, et Eric Justes. 2017. « Quantifying in Situ and Modeling Net Nitrogen Mineralization from Soil Organic Matter in Arable Cropping Systems ». *Soil Biology and Biochemistry* 111 (août): 44-59. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.010>.
- Colin, M. E., J. M. Bonmatin, I. Moineau, C. Gaimon, S. Brun, et J. P. Vermandere. 2004. « A Method to Quantify and Analyze the Foraging Activity of Honey Bees: Relevance to the Sublethal Effects Induced by Systemic Insecticides ». *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 47 (3). <https://doi.org/10.1007/s00244-004-3052-y>.
- Costanza, Robert, Brendan Fisher, Kenneth Mulder, Shuang Liu, et Treg Christopher. 2007. « Biodiversity and Ecosystem Services: A Multi-Scale Empirical Study of the Relationship between Species Richness and Net Primary Production ». *Ecological Economics* 61 (2-3): 478-91. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.03.021>.
- Craheix, D, F Angevin, J-E Bergez, C Bockstaller, B Colomb, L Guichard, R Reau, W Sadok, et T Doré. 2011. « Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E », 133.
- Dassou, Anicet Gbèblonoudo, et Philippe Tixier. 2016. « Response of Pest Control by Generalist Predators to Local-Scale Plant Diversity: A Meta-Analysis ». *Ecology and Evolution* 6 (4): 1143-53. <https://doi.org/10.1002/ece3.1917>.
- Dennis, Paul G., Anthony J. Miller, et Penny R. Hirsch. 2010. « Are Root Exudates More Important than Other Sources of Rhizodeposits in Structuring Rhizosphere Bacterial Communities?: Root Exudates and Rhizosphere Bacteria ». *FEMS Microbiology Ecology* 72 (3): 313-27. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00860.x>.
- Desneux, Nicolas, Axel Decourtye, et Jean-Marie Delpuech. 2007. « The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods ». *Annual Review of Entomology* 52 (1): 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
- Diacono, Mariangela, et Francesco Montemurro. 2010. « Long-Term Effects of Organic Amendments on Soil Fertility. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 30 (2): 401-22. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>.
- Dib, H., Simon, S., Sauphanor, B., Capowiez, Y., 2010. The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in organic apple orchards in southeastern France. *Biological Control* 55, 97-109
- Doré, Thierry, Nelly Lecorre-Gabens, et Jean Marc Meynard. 2011. « Le Grenelle de l'environnement: implications pour l'agronomie et les métiers d'agronomes », 14.

- Duchene, Olivier, Jean-François Vian, et Florian Celette. 2017. « Intercropping with Legume for Agroecological Cropping Systems: Complementarity and Facilitation Processes and the Importance of Soil Microorganisms. A Review ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240 (mars): 148-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>.
- Duru, Michel, Olivier Therond, Guillaume Martin, Roger Martin-Clouaire, Marie-Angéline Magne, Eric Justes, Etienne-Pascal Journet, et al. 2015. « How to Implement Biodiversity-Based Agriculture to Enhance Ecosystem Services: A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 35 (4): 1259-81. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>.
- Duval L., Binet T., Dupraz P., Leplay S., Etrillard C., Pech M., Deniel E., Laustriat M., 2016. *Paielements pour services environnementaux et méthodes d'évaluation économique. Enseignements pour les mesures agro-environnementales de la politique agricole commune*. Etude réalisée pour le ministère en charge de l'agriculture. Synthèse.
- El Mujtar, V., N. Muñoz, B. Prack Mc Cormick, M. Pulleman, et P. Tittonell. 2019. « Role and Management of Soil Biodiversity for Food Security and Nutrition; Where Do We Stand? » *Global Food Security* 20 (mars): 132-44. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.01.007>.
- Emmerson, M., M.B. Morales, J.J. Oñate, P. Batáry, F. Berendse, J. Liira, T. Aavik, et al. 2016. « How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services ». In *Advances in Ecological Research*, 55:43-97. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.08.005>.
- Fried, Guillaume, Lisa R. Norton, et Xavier Reboud. 2008. « Environmental and Management Factors Determining Weed Species Composition and Diversity in France ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128 (1-2): 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.05.003>.
- Garbach, K., J.C. Milder, M. Montenegro, D.S. Karp, et F.A.J. DeClerck. 2014. « Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems ». In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 21-40. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00013-9>.
- Geiger, Flavia, Jan Bengtsson, Frank Berendse, Wolfgang W. Weisser, Mark Emmerson, Manuel B. Morales, Piotr Ceryngier, et al. 2010. « Persistent Negative Effects of Pesticides on Biodiversity and Biological Control Potential on European Farmland ». *Basic and Applied Ecology* 11 (2): 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>.
- Ghosh, P. K., K. K. Bandyopadhyay, R. H. Wanjari, M. C. Manna, A. K. Misra, M. Mohanty, et A. Subba Rao. 2007. « Legume Effect for Enhancing Productivity and Nutrient Use-Efficiency in Major Cropping Systems—An Indian Perspective: A Review ». *Journal of Sustainable Agriculture* 30 (1): 59-86. https://doi.org/10.1300/J064v30n01_07.
- Graham, Peter H., et Carroll P. Vance. 2003. « Legumes: Importance and Constraints to Greater Use ». *Plant Physiology* 131 (3): 872-77. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>.
- Groot, Rudolf de, Luke Brander, Sander van der Ploeg, Robert Costanza, Florence Bernard, Leon Braat, Mike Christie, et al. 2012. « Global Estimates of the Value of Ecosystems and Their Services

- in Monetary Units ». *Ecosystem Services* 1 (1): 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.
- Gupta, S. C., et W. E. Larson. 1979. « Estimating Soil Water Retention Characteristics from Particle Size Distribution, Organic Matter Percent, and Bulk Density ». *Water Resources Research* 15 (6): 1633-35. <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01633>.
- Hau, Jorge L., et Bhavik R. Bakshi. 2004a. « Expanding Exergy Analysis to Account for Ecosystem Products and Services ». *Environmental Science & Technology* 38 (13): 3768-77. <https://doi.org/10.1021/es034513s>.
- Hau, Jorge L., et Bhavik R Bakshi. 2004b. « Promise and Problems of Emergy Analysis ». *Ecological Modelling* 178 (1-2): 215-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.016>.
- Haynes, R.J., et R. Naidu. 1998. « [No Title Found] ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51 (2): 123-37. <https://doi.org/10.1023/A:1009738307837>.
- Hinsinger, P., E. Betencourt, L. Bernard, A. Brauman, C. Plassard, J. Shen, X. Tang, et F. Zhang. 2011. « P for Two, Sharing a Scarce Resource: Soil Phosphorus Acquisition in the Rhizosphere of Intercropped Species ». *PLANT PHYSIOLOGY* 156 (3): 1078-86. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175331>.
- Holland, John M., Jacob C. Douma, Liam Crowley, Laura James, Laura Kor, David R.W. Stevenson, et Barbara M. Smith. 2017. « Semi-Natural Habitats Support Biological Control, Pollination and Soil Conservation in Europe. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 37 (4): 31. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0434-x>.
- Ittersum, M.K. van, et R. Rabbinge. 1997. « Concepts in Production Ecology for Analysis and Quantification of Agricultural Input-Output Combinations ». *Field Crops Research* 52 (3): 197-208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3).
- Iverson, Aaron L., Linda E. Marín, Katherine K. Ennis, David J. Gonthier, Benjamin T. Connor-Barrie, Jane L. Remfert, Bradley J. Cardinale, et Ivette Perfecto. 2014. « REVIEW: Do Polycultures Promote Win-Wins or Trade-Offs in Agricultural Ecosystem Services? A Meta-Analysis ». Édité par Jeremy Wilson. *Journal of Applied Ecology* 51 (6): 1593-1602. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12334>.
- Johannes, Alice, Adrien Matter, Rainer Schulin, Peter Weiskopf, Philippe C. Baveye, et Pascal Boivin. 2017. « Optimal Organic Carbon Values for Soil Structure Quality of Arable Soils. Does Clay Content Matter? ». *Geoderma* 302 (septembre): 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>.
- Justes, Eric, Nicolas Beaudoin, et Patrick [et al] Bertuzzi. 2012. « Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques », 416.

- Khaleel, R., K. R. Reddy, et M. R. Overcash. 1981. « Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review1 ». *Journal of Environment Quality* 10 (2): 133. <https://doi.org/10.2134/jeq1981.00472425001000020002x>.
- Kleijn, David, Riccardo Bommarco, Thijs P.M. Fijen, Lucas A. Garibaldi, Simon G. Potts, et Wim H. van der Putten. 2019. « Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice ». *Trends in Ecology & Evolution* 34 (2): 154-66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>.
- Kuntz, M., A. Berner, A. Gattinger, J.M. Scholberg, P. Mäder, et L. Pfiffner. 2013. « Influence of Reduced Tillage on Earthworm and Microbial Communities under Organic Arable Farming ». *Pedobiologia* 56 (4-6): 251-60. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2013.08.005>.
- Labruyere, Sarah, Benoit Ricci, Antoine Lubac, et Sandrine Petit. 2016. « Crop Type, Crop Management and Grass Margins Affect the Abundance and the Nutritional State of Seed-Eating Carabid Species in Arable Landscapes ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 231 (septembre): 183-92. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.037>.
- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, D., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.-P., Trommetter, M., 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies.
- Letourneau, Deborah K., Inge Armbrrecht, Beatriz Salguero Rivera, James Montoya Lerma, Elizabeth Jiménez Carmona, Martha Constanza Daza, Selene Escobar, et al. 2011. « Does Plant Diversity Benefit Agroecosystems? A Synthetic Review ». *Ecological Applications* 21 (1): 9-21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>.
- Liu, Chang, Meng Lu, Jun Cui, Bo Li, et Changming Fang. 2014. « Effects of Straw Carbon Input on Carbon Dynamics in Agricultural Soils: A Meta-Analysis ». *Global Change Biology* 20 (5): 1366-81. <https://doi.org/10.1111/gcb.12517>.
- Malézieux, E, Y Crozat, C Dupraz, M Laurans, D Makowski, H Ozier-Lafontaine, B Rapidel, S de Tourdonnet, et M Valantin-Morison. 2009. « Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models: A Review », 25.
- Marschner, Petra, David Crowley, et Ching Hong Yang. 2004. « Development of Specific Rhizosphere Bacterial Communities in Relation to Plant Species, Nutrition and Soil Type ». *Plant and Soil* 261 (1/2): 199-208. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000035569.80747.c5>.
- Marshall, E J P, V K Brown, N D Boatman, P J W Lutman, G R Squire, et L K Ward. 2003. « The Role of Weeds in Supporting Biological Diversity within Crop Fields* ». *Weed Research* 43 (2): 77-89. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x>.
- Martin, Emily A., Matteo Dainese, Yann Clough, Andrés Báldi, Riccardo Bommarco, Vesna Gagic, Michael P.D. Garratt, et al. 2019. « The Interplay of Landscape Composition and Configuration: New Pathways to Manage Functional Biodiversity and Agroecosystem Services across

- Europe ». Édité par Christoph Scherber. *Ecology Letters*, avril, ele.13265. <https://doi.org/10.1111/ele.13265>.
- Mézière, Delphine, Sandrine Petit, Sylvie Granger, Luc Biju-Duval, et Nathalie Colbach. 2015. « Developing a Set of Simulation-Based Indicators to Assess Harmfulness and Contribution to Biodiversity of Weed Communities in Cropping Systems ». *Ecological Indicators* 48 (janvier): 157-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.028>.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Neumann, G, et V Römheld. 1999. « Root Excretion of Carboxylic Acids and Protons in Phosphorus-Deficient Plants », 10.
- Nuruzzaman, Mohammad, Hans Lambers, Michael D. A. Bolland, et Erik J. Veneklaas. 2006. « Distribution of Carboxylates and Acid Phosphatase and Depletion of Different Phosphorus Fractions in the Rhizosphere of a Cereal and Three Grain Legumes ». *Plant and Soil* 281 (1-2): 109-20. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3936-2>.
- Othoniel, Benoit, Benedetto Rugani, Reinout Heijungs, Enrico Benetto, et Cees Withagen. 2016. « Assessment of Life Cycle Impacts on Ecosystem Services: Promise, Problems, and Prospects ». *Environmental Science & Technology* 50 (3): 1077-92. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03706>.
- Palomo-Campesino, Sara, José González, et Marina García-Llorente. 2018. « Exploring the Connections between Agroecological Practices and Ecosystem Services: A Systematic Literature Review ». *Sustainability* 10 (12): 4339. <https://doi.org/10.3390/su10124339>.
- Paradelo, Remigio, Marie Eden, Ingrid Martínez, Thomas Keller, et Sabine Houot. 2019. « Soil Physical Properties of a Luvisol Developed on Loess after 15 Years of Amendment with Compost ». *Soil and Tillage Research* 191 (août): 207-15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.003>.
- Pearse, Stuart J., Erik J. Veneklaas, Greg R. Cawthray, Mike D. A. Bolland, et Hans Lambers. 2006. « Carboxylate Release of Wheat, Canola and 11 Grain Legume Species as Affected by Phosphorus Status ». *Plant and Soil* 288 (1-2): 127-39. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9099-y>.
- Petit, Sandrine, Nicolas Munier-Jolain, Vincent Bretagnolle, Christian Bockstaller, Sabrina Gaba, Stéphane Cordeau, Martin Lechenet, Delphine Mézière, et Nathalie Colbach. 2015. « Ecological Intensification Through Pesticide Reduction: Weed Control, Weed Biodiversity and Sustainability in Arable Farming ». *Environmental Management* 56 (5): 1078-90. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0554-5>.
- Potts, S. G., B. A. Woodcock, S. P. M. Roberts, T. Tscheulin, E. S. Pilgrim, V. K. Brown, et J. R. Tallowin. 2009. « Enhancing Pollinator Biodiversity in Intensive Grasslands ». *Journal of Applied Ecology* 46 (2): 369-79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01609.x>.

- Potts, Simon G., Jacobus C. Biesmeijer, Claire Kremen, Peter Neumann, Oliver Schweiger, et William E. Kunin. 2010. « Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers ». *Trends in Ecology & Evolution* 25 (6): 345-53. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>.
- Prince, Stephen D., Jonathan Haskett, Marc Steininger, Holly Strand, et Robb Wright. 2001. « NET PRIMARY PRODUCTION OF U.S. MIDWEST CROPLANDS FROM AGRICULTURAL HARVEST YIELD DATA ». *Ecological Applications* 11 (4): 1194-1205. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1194:NPPOUS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1194:NPPOUS]2.0.CO;2).
- Quinio, Maude, Mélanie De Waele, Fabrice Dessaint, Luc Biju-Duval, Marc Buthiot, Emilie Cadet, Ann K. Bybee-Finley, Jean-Philippe Guillemain, et Stéphane Cordeau. 2017. « Separating the Confounding Effects of Farming Practices on Weeds and Winter Wheat Production Using Path Modelling ». *European Journal of Agronomy* 82 (janvier): 134-43. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.011>.
- Rawls, W.J., Y.A. Pachepsky, J.C. Ritchie, T.M. Sobecki, et H. Bloodworth. 2003. « Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention ». *Geoderma* 116 (1-2): 61-76. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6).
- Rega, Carlo, Agustín M. Bartual, Gionata Bocci, Louis Sutter, Matthias Albrecht, Anna-Camilla Moonen, Philippe Jeanneret, et al. 2018. « A Pan-European Model of Landscape Potential to Support Natural Pest Control Services ». *Ecological Indicators* 90 (juillet): 653-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>.
- Robb, P. 2017. *Considering Vulnerabilities, Threats and Gaps in Plant and Food Biosecurity*. Vol. 8. Practical Tools for Plant and Food Biosecurity: Results from a European Network of Excellence, Vol 8. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46897-6_1.
- Robertson, G Philip, et Scott M Swinton. 2005. « Reconciling Agricultural Productivity and Environmental Integrity: A Grand Challenge for Agriculture », 9.
- Robinson, David A., Inma Lebron, et Harry Vereecken. 2009. « On the Definition of the Natural Capital of Soils: A Framework for Description, Evaluation, and Monitoring ». *Soil Science Society of America Journal* 73 (6): 1904. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0332>.
- Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.P., RogerEstrade, J., 2010. Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: a review. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol 109, pp. 219-259
- Scholberg, Johannes M. S., Santiago Dogliotti, Carolina Leoni, Corey M. Cherr, Lincoln Zotarelli, et Walter A. H. Rossing. 2010. « Cover Crops for Sustainable Agrosystems in the Americas ». In *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming*, édité par Eric Lichtfouse, 4:23-58. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_2.
- Soane, B.D., B.C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno, et J. Roger-Estrade. 2012. « No-till in Northern, Western and South-Western Europe: A Review of Problems and Opportunities for

- Crop Production and the Environment ». *Soil and Tillage Research* 118 (janvier): 66-87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>.
- Tang, C., J.J. Drevon, B. Jaillard, G. Souche, et P. Hinsinger. 2004. « Proton Release of Two Genotypes of Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) as Affected by N Nutrition and P Deficiency ». *Plant and Soil* 260 (1/2): 59-68. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030174.09138.76>.
- Therond O. (coord.), Tichit M. (coord.), Tibi A. (coord.), Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., Bonaudo T., Boval M., Cahuzac E., Casellas E., Chauvel B., Choler P., Constantin J., Cousin I., Daroussin J., David M., Delacote P., Derocles S., De Sousa L., Domingues Santos J.P., Dross C., Duru M., Eugène M., Fontaine C., Garcia B., Geijzendorffer I., Girardin A., Graux A-I., Jouven M., Langlois B., Le Bas C., Le Bissonnais Y., Lelièvre V., Lifran R., Maigné E., Martin G., Martin R., Martin-Laurent F., Martinet V., McLaughlin O., Meillet A., Mignolet C., Mouchet M., Nozières-Petit M-O., Ostermann O.P., Paracchini M.L., Pellerin S., Peyraud J-L., Petit-Michaut S., Picaud C., Plantureux S., Poméon T., Porcher E., Puech T., Puillet L., Rambonilaza T., Raynal H., Resmond R., Ripoche D., Ruget F., Rulleau B., Rusch A., Salles J-M., Sauvant D., Schott C., Tardieu L. (2017). *Volet "écosystèmes agricoles" de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques*. Rapport d'étude, Inra (France), 966 pages.
- Therond, Olivier, et Michel Duru. 2019. « Agriculture et biodiversité: les services écosystémiques, une voie de réconciliation? », 20.
- Therond, Olivier, Michel Duru, Jean Roger-Estrade, et Guy Richard. 2017. « A New Analytical Framework of Farming System and Agriculture Model Diversities. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 37 (3). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7>.
- Torralba, Mario, Nora Fagerholm, Paul J. Burgess, Gerardo Moreno, et Tobias Plieninger. 2016. « Do European Agroforestry Systems Enhance Biodiversity and Ecosystem Services? A Meta-Analysis ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 230 (août): 150-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>.
- Trichard, Aude, Audrey Alignier, Bruno Chauvel, et Sandrine Petit. 2013. « Identification of Weed Community Traits Response to Conservation Agriculture ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179 (octobre): 179-86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.012>.
- Trichard, Aude, Benoit Ricci, Chantal Ducourtieux, et Sandrine Petit. 2014. « The Spatio-Temporal Distribution of Weed Seed Predation Differs between Conservation Agriculture and Conventional Tillage ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 188 (avril): 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.031>.
- Tschamtké, Teja, Riccardo Bommarco, Yann Clough, Thomas O. Crist, David Kleijn, Tatyana A. Rand, Jason M. Tylianakis, Saskya van Nouhuys, et Stefan Vidal. 2007. « Conservation Biological Control and Enemy Diversity on a Landscape Scale ». *Biological Control* 43 (3): 294-309. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.006>.

- Tscharntke, Teja, Alexandra M. Klein, Andreas Kruess, Ingolf Steffan-Dewenter, et Carsten Thies. 2005. « Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity – Ecosystem Service Management ». *Ecology Letters* 8 (8): 857-74. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Tschumi, Matthias, Matthias Albrecht, Cédric Bärtschi, Jana Collatz, Martin H. Entling, et Katja Jacot. 2016. « Perennial, Species-Rich Wildflower Strips Enhance Pest Control and Crop Yield ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 220 (mars): 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.001>.
- Verret, Valentin, Antoine Gardarin, Elise Pelzer, Safia Médiène, David Makowski, et Muriel Valantin-Morison. 2017. « Can Legume Companion Plants Control Weeds without Decreasing Crop Yield? A Meta-Analysis ». *Field Crops Research* 204 (mars): 158-68. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.010>.
- Villamagna, Amy M., Paul L. Angermeier, et Elena M. Bennett. 2013. « Capacity, Pressure, Demand, and Flow: A Conceptual Framework for Analyzing Ecosystem Service Provision and Delivery ». *Ecological Complexity* 15 (septembre): 114-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.07.004>.
- Wang, Yanhua, Tao Cang, Xueping Zhao, Ruixian Yu, Liping Chen, Changxing Wu, et Qiang Wang. 2012. « Comparative Acute Toxicity of Twenty-Four Insecticides to Earthworm, *Eisenia Fetida* ». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 79 (mai): 122-28. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.12.016>.
- Wilfart, A. 2012. « La méthode EMERGY : principes et application en analyse environnementale des systèmes agricoles et de production animale », 9.
- Young, J. R., S. Suon, L. Olmo, C. Bun, C. Hok, K. Ashley, R. D. Bush, et P. A. Windsor. 2017. « Investigation of smallholder farmer biosecurity and implications for sustainable foot-and-mouth disease control in Cambodia ». *Transboundary and Emerging Diseases* 64 (6): 2000-2012. <https://doi.org/10.1111/tbed.12609>.
- Zhang, Yi, Shweta Singh, et Bhavik R. Bakshi. 2010. « Accounting for Ecosystem Services in Life Cycle Assessment, Part I: A Critical Review ». *Environmental Science & Technology* 44 (7): 2232-42. <https://doi.org/10.1021/es9021156>.
- Zulian, Grazia, Joachim Maes, et Maria Paracchini. 2013. « Linking Land Cover Data and Crop Yields for Mapping and Assessment of Pollination Services in Europe ». *Land* 2 (3): 472-92. <https://doi.org/10.3390/land2030472>.

Articles numériques

INRA, "Les centres INRA", 2016 [en ligne], <http://www.colmar.inra.fr/Le-centre-Les-recherches/Les-unites-du-centre> (consulté le 4 avril 2019)

INRA, "Qui sommes-nous ?", 2017 [en ligne], <http://institut.inra.fr/Reperes> (consulté le 4 avril 2019)

Laboratoire Agronomie et Environnement, "Thèmes de recherche", 2012 [en ligne], <http://lae.univ-lorraine.fr/accueil/> (consulté le 5 avril 2019)

Lescourret. "Agriculture et écologie : tensions, synergies et enjeux pour l'agronomie", Revue A&S, vol.2, n°1, juin 2012 [en ligne], https://www.agronomie.asso.fr/fileadmin/user_upload/Revue_AES/AES_vol2_n1_juin2012/AESvol2_n1_dossier_complet.pdf (consulté le 10 avril 2014).

ANNEXES

Annexe n° 1 : Base de données de la synthèse bibliographique

Hypothèses pour le potentiel de fourniture en SE

	Références	Pollinisation des plantes cultivées	Régulation des adventices	Régulation des maladies	Régulation des ravageurs	Capacité de rétention d'eau	Structure du sol	Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion	Fourniture du sol en éléments nutritifs (N)	Fourniture du sol en éléments nutritifs (P)
Rotations	Schoberger et al., 2010; Klein et al., 2019; Palomo-Campesino, Gonzalez et Garcia-Lorente, 2018; Letourneau et al., 2011; Dessou et Mayer, 2016; El Mujar et al., 2019; Bender, Waag, et van der Heijden, 2016; Ghosh et al., 2007; Tang et al., 2004; Hinsinger et al., 2011; Neumann et Romheld, 1999; Graham et Vance, 2003; Pease et al., 2006; Nuruzzaman et al., 2006		La diversité des cultures de la rotation permet de rompre le cycle de développement des adventices avec des périodes de semis variées.	La diversité des cultures de la rotation permet de rompre le cycle de développement des maladies et de diminuer le niveau d'inoculum avec des périodes de semis variées.	La diversité des cultures de la rotation permet de développer la variété d'habitats d'auxiliaires prédateurs des ravageurs des cultures avec des périodes de semis variées.				La présence de légumineuses dans la rotation permet de faire un apport azoté par fixation symbiotique.	La présence de cultures avec une capacité de solubilisation du P permet d'estimer un potentiel de fourniture de cet élément.
Couverture du sol	Schoberger et al., 2010; Klein et al., 2019; Palomo-Campesino, Gonzalez, et Garcia-Lorente, 2018; Marschner, Crowley, et Yang, 2004; Dennis, Miller, et Hirsch, 2010; Justes, Beaudoin, et Bertuzzi, 2012		La présence d'une couverture du sol permanente permet d'éviter la germination des adventices.				Les couverts végétaux et leurs résidus permettent de maintenir une certaine humidité du sol nécessaire au développement de champignons produisant de la géoline qui est bénéfique à l'agrégation des particules de sol.	En fonction des périodes à risques annuelles, le type de couverture végétal permet de limiter les phénomènes d'érosion.	Les graminées et crucifères ont de grandes capacités à capter l'azote du sol et ainsi de jouer le rôle de CIPAN.	
Mélanges d'espèces	Malefieux et al., 2009; Bedoussac et al., 2015; Duchêne, Van, et Calette, 2017; Verret et al., 2017; Klein et al., 2019; Palomo-Campesino, Gonzalez, et Garcia-Lorente, 2018; Iverson et al., 2014; Schoberger et al., 2010		Le mélange d'espèces entraîne une compétition aux ressources avec les adventices et les associations légumineuses/généralistes favorisent ce contrôle.	Par effet de dilution et d'allopatie, le mélange d'espèces diminue la pression des maladies. Un effet positif est aussi remarqué sur les auxiliaires de cultures.	Par effet de dilution, de barrière physique et de diversité des habitats pour les auxiliaires bénéfiques, le mélange d'espèces diminue la pression des ravageurs.			La diversification des espèces dans une parcelle, permet d'avoir un ensemble de systèmes racinaires différents qui permettent de limiter les phénomènes d'érosion.		
Agroforesterie	EFEE-EA, 2017; Torralba et al., 2016					Le réseau racinaire des arbres en agroforesterie augmente le volume de sol exploitable par les racines des plantes cultivées et génère un ascenseur hydrique.		L'agroforesterie permet de mieux stabiliser le sol et de limiter l'érosion.	L'agroforesterie permet d'améliorer la fourniture en éléments azotés.	L'agroforesterie permet d'améliorer la fourniture en éléments P.
Habitats semi naturels	Palomo-Campesino, Gonzalez, et Garcia-Lorente, 2018; Bartal et al., 2019; Tschamke et al., 2005; Blaauw et Isaacs, 2014; Tschumi et al., 2016; Zilian, Mase, et Parracchini, 2015; Paracchini, 2015; Holland et al., 2017; Bianchi, Bojli, et Tschamke, 2006; Letourneau et al., 2011; Bartal et al., 2019; Tschamke et al., 2007; Rega et al., 2018; Blaauw et Isaacs, 2014; Tschumi et al., 2016	Les habitats semi-naturels permettent d'accueillir une grande diversité de pollinisateurs. La strate herbacée augmente la pollinisation de par sa richesse floristique et est largement favorisée par la plantation de bandes fleuries adjacentes aux champs. Cependant, la strate boisée diminue la pollinisation de par son appauvrissement floristique.	Les habitats semi-naturels favorisent la présence d'individus réguliers d'adventices. Les bandes emherbees favorisent l'abondance de carabes. Cet effet est très marqué avec la présence de bandes fleuries.		La présence de bandes emherbees augmente les auxiliaires naturels ennemis des ravageurs herbivores. La strate herbacée est reliée dans 80% des cas à une amélioration du contrôle biologique. La strate boisée en lisière de culture, elle est une bonne source d'habitat. Les bandes fleuries sauvages réduisent de 40% les dégâts causés par les ravageurs.				La qualité et quantité de biomasse et la composition du sol en matière organique permettent d'assurer les cycles biogéochimiques des éléments nutritifs du sol.	La qualité et quantité de biomasse et la composition du sol en matière organique permettent d'assurer les cycles biogéochimiques des éléments nutritifs du sol.
sol (MO, texture, teneurs, densité apparente)	Rawls et al., 2003; Gupta et Larson, 1979; Badet et al., 1998; Bender, Waag, et van der Heijden, 2016; El Mujar et al., 2019; Clivot et al., 2017; Johannes et al., 2017					La matière organique permet de former des agrégats et ainsi participer à la porosité du sol.	La matière organique et l'argile du sol ont un effet positif sur la vie de la macrofaune, à l'origine des bioturbations, ainsi à la structuration du sol.	La matière organique et l'argile du sol permettent de former des agrégats et ainsi participer à la structuration du sol.		

Hypothèses pour la modulation du potentiel de fourniture en SE

	Références	Pollinisation des plantes cultivées	Régulation des adventices	Régulation des maladies	Régulation des ravageurs	Capacité de rétention d'eau	Structuration du sol	Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion	Fourniture du sol en éléments nutritifs (N)	Fourniture du sol en éléments nutritifs (P)
Insecticides	Colin et al. 2004; Britain et Potts 2011; Simon, G. Potts et al. 2010; Emerson et al. 2016; Labryere et al. 2016; Desreux, Decourtye, et Delpeuch 2007; Geiger et al. 2010; Wang et al. 2012	L'utilisation d'insecticides non spécifiques nuit aux pollinisateurs des cultures.	L'utilisation d'insecticides nuit au développement des organismes qui régulent les adventices tels que les charabes : « carabid species richness was negatively associated with the amounts of active ingredients of insecticide applied ».	L'utilisation d'insecticides impacte négativement la présence d'auxiliaires des cultures, prédateurs des ravageurs : « the predation rate of aphids measured in the field significantly declined as the amounts of insecticide applied increased, suggesting reduced activity or abundance of natural predators such as beetles and spiders ».			Les insecticides nuisent à la macrofaune du sol, bioindicateur support de la structuration du sol.			
Apport de matière organique et gestion des résidus de culture	Liu et al. 2014; Khaleel, Reddy, et Overcash 1991; Paradelo et al. 2019; Diasono et Montemurro 2010					Le retour des pailles au sol favorise la formation de macros agrégats qui participent à la porosité.	Le retour des pailles au sol favorise la structuration du sol par une augmentation de la matière organique, permettant la création de macros agrégats.	L'apport de matière organique (par l'augmentation du stock de carbone dans le sol) favorise la formation de macros agrégats qui participent à la porosité.	Le retour des pailles au sol augmente les quantités d'azote du sol.	Le retour des pailles au sol augmente les quantités de phosphore du sol.
Chaulage	Haynes et Naidu 1998; Adams 1984						Le chaulage permet de favoriser la formation d'agrégats, structures témoignant d'une bonne structuration du sol.	Le chaulage permet par son amendement basique, de favoriser la cohésion du sol et de limiter les effets de l'érosion.	Le chaulage permet de favoriser l'assimilation des éléments nutritifs par les végétaux.	Le chaulage permet de favoriser l'assimilation des éléments nutritifs par les végétaux.
Récolte en mauvaises conditions							La récolte en mauvaises conditions peut créer des déformations structurales du sol telles que des ornières.			
Travail du sol	Kuntz et al. 2013; Trichard et al. 2014; Saane et al. 2012		Le travail du sol peut avoir un effet négatif sur les capacités suppressives des sols via la perturbation des réseaux trophiques et la présence d'habitats pour des adventices.	Le travail du sol peut avoir un effet négatif sur les capacités suppressives des sols via la perturbation des réseaux trophiques et la présence d'habitats pour des auxiliaires.	Le travail du sol de type labour bouleverse les canaux naturels permettant la circulation de l'eau et empêche un stockage optimal de par la semelle créée.	Le travail du sol de type labour induit une semelle qui tasse et expose fortement le sol à la recompactation. De plus, il détruit les bioturbations des vers de terre.	Le travail du sol de type labour induit une semelle qui tasse et expose fortement le sol à la recompactation. De plus, il détruit les bioturbations des vers de terre.			
Agriculture de conservation	Kuntz et al. 2013; Klein et al. 2019		L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.	L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de fourniture en éléments N et P.
Diversité intraparcellaire due à la flore adventice	Dassou et Tixier 2016; Pett et al. 2015; Mézière et al. 2015; Marshall et al. 2003; Fried, Norton, et Reboud 2008; Trichard et al. 2013; Quino et al. 2017	La flore adventice constitue un ensemble d'habitats diversifiés pour les pollinisateurs			La flore adventice constitue un ensemble d'habitats diversifiés pour les auxiliaires généralistes des cultures					

Guide de notation



Pour les sources citées dans ce document, une lettre les accompagne. La signification de ces lettres est la suivante : (R) = Review, (MA) = Méta-analyse, (A) = article primaire multi-sites.

Table des matières

1- Potentiel de services écosystémiques fourni par les pratiques de gestion de couverts végétaux et les caractéristiques du sol.....	1
1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation	2
1.1.1- Régulation des adventices	2
1.1.2- Régulation des maladies	3
1.1.3- Régulation des ravageurs.....	4
1.1.4- Fourniture du sol en élément N.....	5
1.1.5- Fourniture du sol en élément P.....	6
1.2- Indicateurs de potentiel liés à la couverture du sol	7
1.2.1- Régulation des adventices	7
1.2.2- Structuration du sol	9
1.2.3- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	10
1.2.4- Fourniture du sol en élément N.....	12
1.3- Indicateurs de potentiel liés aux mélanges d'espèces.....	13
1.3.1- Régulation des adventices	13
1.3.2- Régulation des maladies	14
1.3.3- Régulation des ravageurs.....	15
1.3.4- Stabilisation et contrôle de l'érosion	16
1.4- Indicateurs de potentiel liés à l'agroforesterie	17
1.4.1- Capacité de rétention en eau.....	17
1.4.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	18
1.4.3- Fourniture du sol en élément N.....	19
1.4.4- Fourniture du sol en élément P	20
1.5- Indicateurs de potentiel liés aux habitats semi-naturels.....	21
1.5.1- Pollinisation.....	21
1.5.2- Régulation des adventices	22
1.5.3- Régulation des ravageurs.....	23
1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol.....	24
1.6.1- Capacité de rétention en eau.....	24
1.6.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	25
1.6.3- Structuration du sol	26
1.6.4- Fourniture en élément N	27

1.6.5- Fourniture en élément P	28
2- Modulation du potentiel de services écosystémiques sur l'année culturale par les pratiques de gestion de la biomasse et du sol.....	29
2.1- Indicateurs de modulation liés aux insecticides.....	30
2.1.1- Pollinisation.....	30
2.1.2- Régulation des adventices	31
2.1.3- Régulation des ravageurs.....	32
2.1.4- Structuration du sol	33
2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique.....	34
2.2.1- Capacité de rétention en eau.....	34
2.2.2- Structuration du sol	35
2.2.3- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	36
2.2.4- Fourniture du sol en élément N	37
2.2.5- Fourniture du sol en élément P	38
2.3- Indicateurs de modulation liés au chaulage.....	39
2.3.1- Structuration du sol	39
2.3.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	40
2.3.3- Fourniture du sol en élément N	41
2.3.4- Fourniture du sol en élément P	42
2.4- Indicateurs de modulation liés à la récolte en mauvaises conditions	43
2.4.1- Structuration du sol	43
2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol	44
2.5.1- Régulation des adventices	44
2.5.2- Régulation des ravageurs.....	45
2.5.3- Capacité de rétention en eau.....	46
2.5.4- Structuration du sol	47
2.5.5- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion.....	48
2.6- Indicateurs de modulation liés à l'agriculture de conservation	49
2.7- Indicateurs de modulation liés à la diversité intra-parcellaire due à la flore adventice	50
2.7.1- Pollinisation.....	50
2.7.2- Régulation des ravageurs.....	52
3- Niveau d'utilisation effective des potentiels de services écosystémiques par l'agriculteur pour la production.....	54
3.1- Fourniture de nutriments N versus fertilisation minérale N.....	55
3.2- Fourniture de nutriments P versus fertilisation minérale P.....	56
3.3- Régulation des adventices versus utilisation d'herbicides et travail du sol	57

3.4- Régulation des maladies fongiques versus utilisation de fongicides	58
3.5- Régulation des ravageurs versus utilisation d'insecticides.....	59
3.6- Structuration du sol versus travail du sol	60
3.7- Capacité de rétention et restitution de l'eau versus irrigation.....	61
4- Calcul des indicateurs finaux	62

1- Potentiel de services écosystémiques fourni par les pratiques de gestion de couverts végétaux et les caractéristiques du sol

1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation

1.1.1- Régulation des adventices

Hypothèse :

La diversité des cultures de la rotation permet de rompre le cycle de développement des adventices avec des périodes de semis variées.

Sources : J. M. S. Scholberg et al., 2010 (R), Kleijn et al., 2019 (MA), Palomo et al., 2018 (MA), MASC.

Méthode de notation :

- Utilisation de MASC : indicateur EPI (Effet de la diversité des Périodes d'Implantation)
- Comptabiliser le nombre de périodes d'implantation différentes, à l'échelle de la rotation

- **Classe A : Semis d'automne précoce** (semis avant le 1^{er} octobre) : ex : Colza, Orge d'hiver...
- **Classe B : Semis d'automne moyennement précoce** (semis entre le 1^{er} octobre et 1^{er} novembre) : ex : Céréales d'hiver, Féverole d'hiver, Pois d'hiver...
- **Classe C : Semis culture d'hiver tardif** (semis après le 1^{er} novembre) : Blé dur et Orge de printemps (Sud de la Loire), Céréales d'hiver, Féverole d'hiver, Pois d'hiver...
- **Classe D : Semis de printemps précoce** (avant le 1^{er} Avril) : ex : Pois de printemps, Orge de printemps, Lupin, Féverole de printemps, Betterave précoce...
- **Classe E : Semis de printemps tardif** (après le 1^{er} Avril) : ex : Maïs, Tournesol, Soja, Sorgho, Betterave tardive, Pomme de terre...

Le nombre de classes comptabilisées dans la rotation sera majoré d'une classe lorsqu'une culture pluriannuelle est présente dans la rotation car ces couverts, semés dans une rotation une seule fois pour plusieurs années, contribuent à rompre le cycle biologique des adventices et à étouffer les jeunes plantules.

- Appliquer le système de notation suivant :

Note à attribuer	Nombre de périodes d'implantation
0	1 (très faible)
0,25	2 (faible)
0,5	3 (moyenne)
0,75	4 (élevée)
1	≥ 5 (très élevée)

1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation

1.1.2- Régulation des maladies

Hypothèse :

La diversité des cultures de la rotation permet de rompre le cycle de développement des maladies et de diminuer le niveau d'inoculum avec des périodes de semis variées.

Sources : J. M. S. Scholberg et al., 2010 (R), MASC.

Méthode de notation :

- Indicateur formé de deux indicateurs :
 - indicateur MASC : DFC (Diversité des Familles Cultivées)
 - indicateur de résistances
- **Indicateur DFC :** appliquer la formule suivante :

$$DFC = 1 / [\sum_i (p_i^2)]$$

Avec :
 $P_i = n_i / N$
 n_i = nombre de cultures appartenant à la famille i
 N = nombre de cultures dans la rotation

Les principales familles rencontrées en cultures de plein champ sont indiquées dans le tableau 44.

Tableau 44 : principales familles rencontrées en cultures de plein champ

Familles	Cultures
Fabacées	Féverole, Pois, Soja, Trèfle, Luzerne, Lupin...
Poacées	Céréales à paille, Maïs, Sorgho...
Astéracées	Tournesol, Artichaut, Laitue...
Chénopodiacées	Betterave...
Solanacées	Pomme de terre, Tomate...
Cannabinaées	Chanvre...
Brassicacées	Colza, Moutarde, Navette, Choux...
Polygonacées	Sarrasin...
Liliacées	Oignon, Poireau...
Linacées	Lin...

Exemples d'application sur quelques rotations :

Maïs/Blé : $1/(2/2)^2 = 1,00$

Maïs/Blé/Colza/Triticale : $1/[(3/4)^2 + (1/4)^2] = 1,60$

Colza/Blé/Orge = $1/[(1/3)^2 + (2/3)^2] = 1,80$

Maïs/Triticale/Colza/Pois/Blé/Orge = $1/[(4/6)^2 + (1/6)^2 + (1/6)^2] = 2,00$

Pois/Blé/Tournesol/Orge = $1/[(2/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2] = 2,67$

Pois/Blé/Colza/Betterave = $1/[(1/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2] = 4,00$

Ensuite, multiplier la valeur de DFC obtenue par 0,25 → ceci constitue la note.

Si DFC > 4, la note est automatiquement de 1.

- **Indicateur de résistance :** la résistance des variétés aux parasites telluriques est généralement évaluée de 0 à 10 par les semenciers. Faire la moyenne des valeurs de chaque variété. Ensuite, multiplier la valeur obtenue par 0,1 → ceci constitue la note.
- **Faire la moyenne des deux notes → la valeur obtenue constitue la note.**

1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation

1.1.3- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

La diversité des cultures de la rotation permet de développer la diversité des habitats d'auxiliaires prédateurs des ravageurs des cultures avec des périodes de semis variées.

Sources : Kleijn et al., 2019 (MA), Palomo et al., 2018 (MA), Letourneau et al 2011 (R), Dassou et Tixier 2016 (MA), MASC.

Méthode de notation :

- Utilisation de MASC : indicateur DFC (Diversité des Familles Cultivées)
- Appliquer la formule suivante :

$$DFC = 1 / [\sum_i (p_i^2)]$$

Avec :

$$P_i = n_i / N$$

n_i = nombre de cultures appartenant à la famille i

N = nombre de cultures dans la rotation

Les principales familles rencontrées en cultures de plein champ sont indiquées dans le tableau 44.

Tableau 44 : principales familles rencontrées en cultures de plein champ

Familles	Cultures
Fabacées	Féverole, Pois, Soja, Trèfle, Luzerne, Lupin...
Poacées	Céréales à paille, Maïs, Sorgho...
Astéracées	Tournesol, Artichaut, Laitue...
Chénopodiacées	Betterave...
Solanacées	Pomme de terre, Tomate...
Cannabinacées	Chanvre...
Brassicacées	Colza, Moutarde, Navette, Choux...
Polygonacées	Sarrasin...
Liliacées	Oignon, Poireau...
Linacées	Lin...

Exemples d'application sur quelques rotations :

$$\text{Maïs/Blé} = 1 / (2/2)^2 = \mathbf{1,00}$$

$$\text{Maïs/Blé/Colza/Triticale} = 1 / [(3/4)^2 + (1/4)^2] = \mathbf{1,60}$$

$$\text{Colza/Blé/Orge} = 1 / [(1/3)^2 + (2/3)^2] = \mathbf{1,80}$$

$$\text{Maïs/Triticale/Colza/Pois/Blé/Orge} = 1 / [(4/6)^2 + (1/6)^2 + (1/6)^2] = \mathbf{2,00}$$

$$\text{Pois/Blé/Tournesol/Orge} = 1 / [(2/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2] = \mathbf{2,67}$$

$$\text{Pois/Blé/Colza/Betterave} = 1 / [(1/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2 + (1/4)^2] = \mathbf{4,00}$$

- Multiplier la valeur de DFC obtenue par 0,25 → ceci constitue la note.
Si DFC > 4, la note est automatiquement de 1.

1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation

1.1.4- Fourniture du sol en élément N

Hypothèse :

La présence de légumineuses dans la rotation permet de faire un apport azoté par fixation symbiotique.

Sources : Kleijn et al., 2019 (MA), Palomo et al., 2018 (MA), Duchene et al 2017 (R).

Méthode de notation :

- Compter le nombre de légumineuses à graines dans la rotation sur le nombre total de cultures et qualifier la durée moyenne des couverts intermédiaires (courts : de 1 à 5 mois / ou longs : supérieurs à 5 mois) qui comportent des légumineuses. Appliquer la notation suivante :

$$\sum (\% \text{ légumineuses dans la rotation} + \% \text{ couverts longs avec légumineuses} + \frac{1}{2} \% \text{ couverts courts avec légumineuses})$$

Ensuite, diviser la valeur obtenue par 250 → ceci constitue la note.

1.1- Indicateurs de potentiel liés à la rotation

1.1.5- Fourniture du sol en élément P

Hypothèse :

Legumes are known to excrete larger amounts of protons (Tang et al., 1997; Hinsinger et al., 2003), carboxylates (Neumann and Römheld, 1999; Vance et al., 2003; Pearse et al., 2006), and phosphatases in their rhizosphere, leading to P unavailable to P available to companion's plants.

Sources : Hinsinger et al., 2011 (A), El Mujtar et al., 2019 (MA), Bender et al., 2011 (R), Ghosh et al 2007 (R), Tang et al., 2004; Hinsinger et al., 20011, Neumann and Römheld, 1999; Vance et al., 2003; Pearse et al., 2006, Nuruzzaman et al., 2006.

Méthode de notation :

- Compter le nombre de légumineuses à graines dans la rotation sur le nombre total de cultures et qualifier la durée moyenne des couverts intermédiaires (courts : de 1 à 5 mois / ou longs : supérieurs à 5 mois) qui comportent des légumineuses. Appliquer la notation suivante :

$$\sum (\% \text{ légumineuses dans la rotation} + \% \text{ couverts longs avec légumineuses} + \frac{1}{2} \% \text{ couverts courts avec légumineuses})$$

Ensuite, diviser la valeur obtenue par 250 → ceci constitue la note.

1.2- Indicateurs de potentiel liés à la couverture du sol

1.2.1- Régulation des adventices

Hypothèse :

La présence d'une couverture du sol permanente permet de limiter la germination des adventices. De plus la vitesse d'établissement des cultures permet de rentrer en concurrence avec les adventices.

Sources : J. M. S. Scholberg et al., 2010 (R), Kleijn et al., 2019 (MA), Palomo et al., 2018 (MA), MASC.

Méthode de notation :

- Utilisation de MASC : indicateur Cci (indice de Contrôle par le Couvert (vitesse de recouvrement))
- Qualifier le type de couverture permis par chaque inter-culture et par chaque culture en y attribuant la notation suivante :

Indices de contrôle par le couvert (CC _i)		
Interculture	Pas de culture intermédiaire	0
	Culture intermédiaire moyennement à peu couvrante	1
	Culture intermédiaire très couvrante et/ou présence d'un mulch épais et dense	2
Culture	Culture peu couvrante (maïs, tournesol, pomme de terre, betterave...)	1
	Culture moyennement couvrante (féverole, colza, pois, céréales moyennement à peu couvrantes)	2
	Culture couvrante (cultures associées, cultures avec semis sous-couvert variétés de céréales très couvrantes : triticale, orge d'hiver...)	3
	Culture très couvrante (chanvre, prairie, luzerne, culture avec présence d'un mulch dense...)	4

- Faire la moyenne des notes de l'indicateur Cci obtenues pour les inter-cultures (première note) et par les cultures (deuxième note).
- Ensuite transformer la note obtenue pour les inter-cultures, de la manière suivante :

Note à attribuer	Note obtenue pour l'indice CCi
0	$0 \leq CCi < 1$
0,5	$1 \leq CCi < 2$
1	$CCi = 2$

- Faire de même avec la note obtenue pour les cultures :

Note à attribuer	Note obtenue pour l'indice CCi
0	$0 \leq CCi < 1$
0,25	$1 \leq CCi < 2$
0,5	$2 \leq CCi < 3$
0,75	$3 \leq CCi < 4$
1	$CCi = 4$

- Faire la moyenne des deux notes et attribuer la notation suivante :

Note à attribuer	Moyenne obtenue
0	0
0,25	0,25
0,5	0,5
0,75	0,75
1	1

1.2- Indicateurs de potentiel liés à la couverture du sol

1.2.2- Structuration du sol

Hypothèses :

- Les couverts végétaux structurent le sol grâce à l'effet de pénétration des racines.
- Les couverts végétaux et leurs résidus permettent de maintenir une certaine humidité du sol nécessaire au développement de champignons produisant de la glomaline qui est bénéfique à l'agrégation des particules de sol.
- La structure et la diversité de des communautés de bactéries rhizosphériques est spécifique à l'espèce de plante (Kowalchuk et al., 2002) et varie selon la phénologie (Houlden et al., 2008), sous l'influence notamment de la quantité et de la qualité des exsudats racinaires (Marschner et al., 2004 ; Dennis et al., 2010).

Sources : J. M. S. Scholberg et al., 2010 (R), Kleijn et al., 2019 (MA), Bertrand et al. 2019 (R)

Méthode de notation :

- Score en fonction des caractéristiques racinaires et pouvoirs structurants des espèces cultivées (fiche technique de l'ITAB de caractérisation des couverts végétaux intermédiaires en fonction de leur structure racinaire et pouvoir structurant (http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/fiches_especes_engraisverts_2017.pdf)).
- Appliquer la notation suivante aux cultures considérées :

Culture	Effet structurant par les racines	Note
Pois fourrager	Moyen	0,25
Fenugrec, gesse, lentille fourragère, lotier corniculé, lupin jaune, minette, pois protéagineux, trèfle blanc, trèfle d'Alexandrie, trèfle incarnat, trèfle violet, trèfle de Perse, vesce, vesce velue, avoine de printemps, avoine d'hiver, avoine strigosa, moha, millet perlé fourrager, ray gras d'Italie, seigle, sorgho fourrager, orge d'hiver, cameline, colza d'hiver, colza fourrager, moutarde blanche, moutarde brune, navette fourragère d'hiver, radis fourrager, nyger, tournesol, phacélie, sarrasin, lin, blé d'hiver, maïs.	Favorable	0,5
Féverole, mélilot à fleurs blanches ou jaunes, sainfoin.	Très favorable	0,75
Luzerne pluriannuelle, luzerne annuelle.	Structurant	1

- **Faire la moyenne des notes → ceci constitue la note.**

1.2- Indicateurs de potentiel liés à la couverture du sol

1.2.3- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

En fonction des périodes à risques annuelles, le type de couverture végétal permet de limiter les phénomènes d'érosion.

Source : MASC.

Méthode de notation :

- Utilisation de MASC : indicateur DCPR (Défauts de Couverture du sol en Périodes à Risque)
- Appliquer la formule suivante pour la période « printemps-été » (première valeur de DCPR) et « automne-hiver » (deuxième valeur de DCPR):

$$\text{DCPR} = (\text{NDC} / \text{NPR}) \times 100$$

Avec :

NDC : Nombre de fois où un défaut de couverture du sol est observé dans la rotation sur une période à risque.

NPR : Nombre de périodes à risque comptabilisées sur l'ensemble de la rotation.

NPR est obtenu en identifiant et comptabilisant les périodes sur la rotation pendant lesquelles le risque d'érosion est important (printemps-été et/ou automne-hiver). Les périodes à risque peuvent être identifiées à dire d'experts ou à partir des cartes saisonnières du risque d'érosion pour chaque petite région agricole de France proposées par Le Bissonnais *et al.* (2002).

NDC est obtenu en comptabilisant le nombre de fois où la protection du sol par le couvert est jugée insatisfaisante (taux de couverture du sol inférieur à 30%) pour chaque période à risque identifiée sur la rotation. Pour faciliter cette qualification, une description des situations pour lesquelles le niveau de couverture est jugée insatisfaisant en période à risque est proposée dans le tableau 52.

Tableau 52 : table de référence permettant de caractériser l'indice NDC en fonction des deux périodes à risques pouvant être identifiées localement.

Périodes à risque	Couverts jugés insatisfaisants pour les périodes à risque concernées
" printemps-été "	Cultures d'été à fort écartement et semées tardivement (Maïs, Sorgho, Tournesol, Pomme de terre, Betterave, Soja...)
" automne-hiver "	Intercultures sans couverture
	Céréales semées en automne (Blé, Orge, Triticale...)
	Cultures intermédiaires (ou repousses) labourées avant le 15 janvier

Tableau 53 : Exemple d'application du calcul de DCPR dans deux contextes d'évaluation différents (avec identification des risques en « Printemps-été » et « Automne-hiver »).

Système de culture	Printemps-été	Automne-hiver
Maïs (<i>précédé d'un CIPAN</i>)	1	0
Blé d'hiver	0	1
Tournesol (<i>précédé d'un CIPAN</i>)	1	0
Orge de printemps (<i>précédé d'un CIPAN</i>)	0	0
Nombre de défauts de couverture (NDC)	2	1
Nombre de périodes à risque (NPR)	4	4
DCPR = (NDC/NPR)	50%	25%

- Transformer ensuite les deux valeurs de DCPR de la manière suivante : $-DCPR * 0,01 + 1$
- Faire la moyenne des deux notes obtenues → ceci constitue la note.

1.2- Indicateurs de potentiel liés à la couverture du sol

1.2.4- Fourniture du sol en élément N

Hypothèse :

Les graminées et crucifères ont de grandes capacités à capter l'azote du sol et ainsi de jouer le rôle de CIPAN.

Sources : Juste et al, 2012.

Méthode de notation :

- Compter le nombre de couverts et cultures à l'automne constitués de graminées, crucifères, et légumineuses implantées en période à risque pour les nitrates (automne) sur le nombre de périodes à risque.
- Pour chaque type de couverts, attribuer la note de pondération suivante :

Pondération	Types de couverts
0	Absence de couverts
0,5	Légumineuses
0,75	Mélange Légumineuses- Graminées/Crucifères
1	Graminées ou crucifères

- **Faire la moyenne des notes → ceci constitue la note.**

1.3- Indicateurs de potentiel liés aux mélanges d'espèces

1.3.1- Régulation des adventices

Hypothèse :

Le mélange d'espèces entraîne une compétition aux ressources avec les adventices.

Sources : Malézieux et al., 2009 (R), Bedoussac et al. 2015 (R), Duchene et al 2017 (R), Verret et al 2017 (MA), Li et al. 2007 (A), Kleijn et al., 2019 (MA), Palomo et al., 2018 (MA).

Méthode de notation :

- Calculer la part des cultures et des inter-cultures recevant un mélange d'espèces.
Multiplier par 0,01 → ceci constitue la note.

1.3- Indicateurs de potentiel liés aux mélanges d'espèces

1.3.2- Régulation des maladies

Hypothèse :

Par effet de dilution et de barrière, le mélange d'espèces diminue la pression des maladies et limite ainsi les attaques sanitaires majeures.

Sources : Malézieux et al., 2009 (R), Iverson et al., 2014 (MA), Bedoussac et al., 2015 (R), Duchene et al., 2017 (R).

Méthode de notation :

- Calculer la part des cultures et des inter-cultures recevant un mélange d'espèces.
Multiplier par 0,01 la part des cultures qui en reçoivent, puis celle des intercultures.
Faire la moyenne des deux notes → ceci constitue la note.

1.3- Indicateurs de potentiel liés aux mélanges d'espèces

1.3.3- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

Le mélange de plusieurs espèces permet de diluer la pression des ravageurs et de perturber leurs habitats ainsi que leur dispersion (abundance of arthropod herbivores, abundance of natural enemies of pests, degree of pest parasitism or amount of plant damage).

Sources : Juste, Loiseau 2001, Daxou, J. M. S. Scholberg et al., 2010 (R), Enjalbert Jérôme (CIAG)

Méthode de notation :

- Calculer la part des cultures et des inter-cultures recevant un mélange d'espèces.
Multiplier par 0,01 la part des cultures qui en reçoivent, puis celle des intercultures.
Faire la moyenne des deux notes → ceci constitue la note.

1.3- Indicateurs de potentiel liés aux mélanges d'espèces

1.3.4- Stabilisation et contrôle de l'érosion

Hypothèses :

La diversification des espèces dans une parcelle, permet d'avoir un ensemble de systèmes racinaires différents qui permettent de limiter les phénomènes d'érosion.

Sources :

Méthode de notation :

- Calculer la part des cultures et des inter-cultures recevant un mélange d'espèces.
Multiplier par 0,01 la part des cultures qui en reçoivent, puis celle des intercultures.
Faire la moyenne des deux notes → ceci constitue la note.

1.4- Indicateurs de potentiel liés à l'agroforesterie

1.4.1- Capacité de rétention en eau

Hypothèse :

L'agroforesterie permet d'améliorer la rétention en eau en augmentant le volume exploré par les racines et la fonction d'ascenseur hydraulique des racines.

Source : EFESE-EA.

Méthode de notation :

- Note à attribuer en fonction de la présence ou l'absence d'agroforesterie sur l'exploitation :

Note à attribuer	Présence/Absence d'agroforesterie
0	Absence d'agroforesterie
...	Si présence d'agroforesterie, calculer le pourcentage de surface couvert par les arbres et le multiplier par 0,01

1.4- Indicateurs de potentiel liés à l'agroforesterie

1.4.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

L'agroforesterie permet de mieux stabiliser le sol et de limiter l'érosion.

Sources :

Méthode de notation :

- Note à attribuer en fonction de la présence ou l'absence d'agroforesterie sur l'exploitation :

Note à attribuer	Présence/Absence d'agroforesterie
0	Absence d'agroforesterie
...	Si présence d'agroforesterie dans le sens de la pente, calculer le pourcentage de surface couvert par les arbres et le multiplier par 0,01
1	Présence d'agroforesterie dans le sens perpendiculaire de la pente

1.4- Indicateurs de potentiel liés à l'agroforesterie

1.4.3- Fourniture du sol en élément N

Hypothèse :

L'agroforesterie permet d'améliorer la fourniture en éléments azotés.

Source : Torralba et al., 2016 (MA).

Méthode de notation :

- Note à attribuer en fonction de la présence ou l'absence d'agroforesterie sur l'exploitation :

Note à attribuer	Présence/Absence d'agroforesterie
0	Absence d'agroforesterie
...	Calculer le pourcentage de surface couvert par les arbres de type légumineux, et le multiplier par 0,01

1.4- Indicateurs de potentiel liés à l'agroforesterie

1.4.4- Fourniture du sol en élément P

Hypothèse :

L'agroforesterie permet d'améliorer la fourniture en éléments P.

Source : Torralba et al., 2016.

Méthode de notation :

- Note à attribuer en fonction de la présence ou l'absence d'agroforesterie sur l'exploitation :

Note à attribuer	Présence/Absence d'agroforesterie
0	Absence d'agroforesterie
...	Si présence d'agroforesterie, calculer le pourcentage de surface couvert par les arbres solubilisateurs de P, et le multiplier par 0,01

1.5- Indicateurs de potentiel liés aux habitats semi-naturels

1.5.1- Pollinisation

Hypothèse :

Les habitats semi-naturels permettent d'accueillir une grande diversité de pollinisateurs.

La strate herbacée augmente la pollinisation de par sa richesse floristique et est largement favorisée par la plantation de bandes fleuries adjacentes aux champs. Cependant, la strate boisée diminue la pollinisation de par son appauvrissement floristique.

Sources : Palomo et al., 2018 (MA), Bartual et al., 2019 (A), Tscharnatke et al., 2007 (R), Blaauw et al., 2014 (A), Tschumi et al., 2016 (A), Zulian et al., 2013 (A), Holland et al, 2017 (MA).

Méthode de notation :

- Prise en compte de l'effet des habitats semi-naturels sur le niveau de pollinisation : mesurer la surface de chaque parcelle à moins de 200 m des SNH de type herbacé (extensively managed grasslands or grassy strips, uncropped or extensively managed herbaceous field margins).
- Additionner l'ensemble des surfaces et diviser par la surface totale des parcelles considérées.
- **Le résultat obtenu (entre 0 et 1) constitue la note.**

1.5- Indicateurs de potentiel liés aux habitats semi-naturels

1.5.2- Régulation des adventices

Hypothèse :

Les carabes sont des organismes régulateurs de graines d'adventices et qui se déplacent à une distance de 200 m maximum.

Sources : Joop.R et Reuter.H, 2005 (A).

Méthode de notation :

- Prise en compte de l'effet des habitats semi-naturels sur le niveau de régulation des adventices : mesurer la surface de chaque parcelle à moins de 200 m des SNH de type herbacé (extensively managed grasslands or grassy strips, uncropped or extensively managed herbaceous field margins).
- Additionner l'ensemble des surfaces et diviser par la surface totale des parcelles considérées.
- **Le résultat obtenu (entre 0 et 1) constitue la note.**

1.5- Indicateurs de potentiel liés aux habitats semi-naturels

1.5.3- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

La présence de bandes enherbées augmente les auxiliaires naturels ennemis des ravageurs herbivores. La strate herbacée est reliée dans 80% des cas à une amélioration du contrôle biologique. La strate boisée en lisière de culture, est une bonne source d'habitat. Les bandes fleuries sauvages réduisent de 40% les dégâts causés par les ravageurs.

Sources : Bianchi et al., 2006, Letourneau et al., 2011 (R), Bartual et al., 2019 (A), Tscharnatke et al., 2007 (R), Carlo Rega et al., 2018 (A), Blaauw et al. ; 2014 (A), Tschumi et al., 2016 (A).

Méthode de notation :

En s'appuyant sur l'article de Carlo Rega et al., 2017, on détermine le type de SNH ayant la meilleure combinaison « distance * point » par rapport au barycentre de chaque champ considéré.

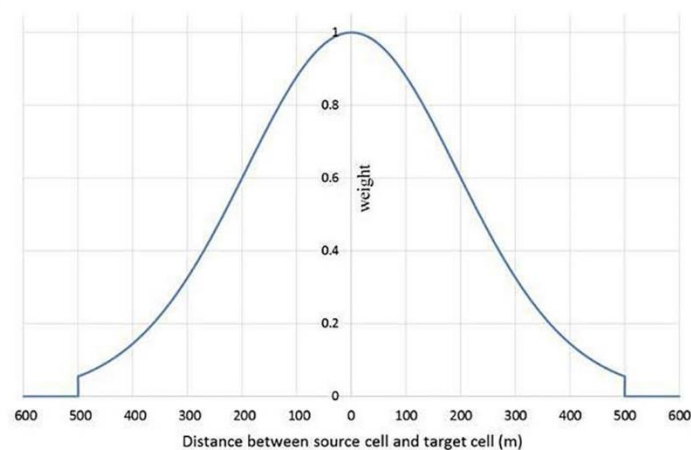
Il faut ensuite établir le système de notation.

On considère que le score maximum obtainable est pour une distance du barycentre de la parcelle de moins de 50 mètres (quasiment 1 sur la fonction distance-poids de l'article) et pour le SNH le plus efficace en termes d'habitats d'auxiliaires.

1. Calculer la combinaison distance * score SNH à chaque SNH autour de la parcelle

Herbaceous areal	26,8
Herbaceous linear	24,7
Woody areal – edge	45,6
Woody areal – interior	20,7
Woody linear	34,4

2. On choisit le SNH avec la meilleure combinaison distance * point SNH.
3. On moyenne les scores pour toutes les parcelles.
4. On établit le score en fonction du tableau suivant :



Carlo-Rega et al 2018.

Note à attribuer	Moyenne des meilleures combinaisons distance*point
0	0
0,25	> 0 à ≤ 11,5
0,5	> 11,5 à ≤ 23
0,75	> 23 à ≤ 34,5
1	>34,5

1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol

1.6.1- Capacité de rétention en eau

Hypothèse :

La matière organique permet de former des agrégats et ainsi participer à la porosité du sol. Elle est un élément déterminant de la capacité de rétention en eau des sols après la texture du sol.

Sources : Rawls, Brakensiek, et Saxton 1982, Gupta et Larson 1979, Bastet et al. 1998.

Méthode de notation :

- Faire la moyenne des compositions (pourcentage) des parcelles en matières organiques et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Composition en MO (%)
0	< 2 %
0,25	> 2 % à ≤ 4 %
0,5	> 4 % à ≤ 6 %
0,75	> 6 % à ≤ 8 %
1	> 8 %

1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol

1.6.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

La matière organique et l'argile du sol permettent de former des agrégats et ainsi participer à la structuration du sol.

Sources : Johannes et al., 2017 (A).

Méthode de notation :

- Calculer le rapport taux de MO / argile et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Taux MO / argile
0	$\leq 0,085$
0,25	$> 0,085 \text{ à } \leq 0,17$
0,5	$> 0,17 \text{ à } \leq 0,25$
0,75	$> 0,25 \text{ à } \leq 0,34$
1	$> 0,34$

1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol

1.6.3- Structuration du sol

Hypothèse :

La matière organique et l'argile du sol permettent de former des agrégats et ainsi participer à la structuration du sol.

Sources : Johannes et al., 2017 (A).

Méthode de notation :

- Calculer le rapport taux de MO / argile et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Taux MO / argile
0	$\leq 0,085$
0,25	$> 0,08 \text{ à } \leq 0,17$
0,5	$> 0,17 \text{ à } \leq 0,25$
0,75	$> 0,25 \text{ à } \leq 0,34$
1	$> 0,34$

1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol

1.6.4- Fourniture en élément N

Hypothèse :

La qualité et quantité de biomasse et la composition du sol en matière organique permettent d'assurer les cycles biogéochimiques des éléments nutritifs du sol.

Sources : Bender et al., 2016 (R), El Mujtar et al., 2019 (MA), Clivot et al 2017 (A).

Méthode de notation :

- Pour chaque culture, faire la somme de la quantité d'azote consommé l'hiver si présence de culture d'hiver, de la quantité de reliquats azotés, de la minéralisation de l'humus sur l'année et de l'effet éventuel des prairies en tant que précédent.

S'aider par exemple des tables suivantes :

- https://aube.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/046_Inst_Aube/Interface/RUB_Environnement/Plaqueette_GREN_Champagne-Ardenne_Fev_19.pdf
- <http://www.planete-legumes.fr/wp-content/uploads/2017/03/DIRECTIVE-NITRATE-Alsace-complet.pdf>
- http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/1207_1_Rapport_travaux_GREN_complet_VDEF.pdf
- http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2017_02_13_arretegrenca.pdf

Pour l'absorption d'azote du colza :

- https://comifer.asso.fr/images/pdf/Fiches_cultures/fiche-culture_colza-hiver.pdf

- Faire la moyenne sur le nombre de cultures considérées et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Quantité d'azote totale
0	0
0,25	> 0 à ≤ 72,5
0,5	> 72,5 à ≤ 145
0,75	> 145 à ≤ 217,5
1	> 217,5

1.6- Indicateurs de potentiel liés aux caractéristiques du sol

1.6.5- Fourniture en élément P

Hypothèse :

La valeur de P Olsen des analyses de sol, traduit la capacité du sol à fournir du phosphore au système.

Sources : Bender et al., 2016 (R), El Mujtar et al., 2019 (MA).

Méthode de notation :

- Calculer la moyenne des valeurs de P Olsen pour toutes les parcelles selon les analyses de sol les plus récentes et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Quantité d'azote totale
0	< 20
0,25	> 20 à ≤ 80
0,5	> 80 à ≤ 140
0,75	> 140 à ≤ 200
1	> 200

2- Modulation du potentiel de services écosystémiques sur l'année culturale par les pratiques de gestion de la biomasse et du sol

2.1- Indicateurs de modulation liés aux insecticides

2.1.1- Pollinisation

Hypothèse :

L'utilisation d'insecticides nuit au développement des pollinisateurs.

Sources : Colin et al. 2004 (A); Brittain et Potts 2011 (R); Potts et al. 2009 (MA)

Méthode de notation :

- Notation dépendant de l'IFT insecticide et de son positionnement par rapport à l'IFT régional.

Pour le calcul des IFT insecticides, s'aider de : <https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/>

- Faire la moyenne des IFT insecticide et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
- 1	$IFT \geq IFT \text{ régional}$
- 0,75	$IFT \text{ régional} > IFT > \frac{1}{2} IFT \text{ régional}$
- 0,5	$IFT = \frac{1}{2} IFT \text{ régional}$
- 0,25	$\frac{1}{2} IFT \text{ régional} > IFT > IFT = 0$
0	$IFT = 0$

2.1- Indicateurs de modulation liés aux insecticides

2.1.2- Régulation des adventices

Hypothèse :

L'utilisation d'insecticides nuit au développement des organismes qui régulent les adventices tels que les carabes : « carabid species richness was negatively associated with the amounts of active ingredients of insecticide applied ».

Sources : Emmerson et al., 2016 (R), Labruyere et al., 2016 (A).

Méthode de notation :

- Notation dépendant de l'IFT insecticide et de son positionnement par rapport à l'IFT régional.

Pour le calcul des IFT insecticides, s'aider de : <https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/>

- Faire la moyenne des IFT insecticide et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
- 1	IFT ≥ IFT régional
- 0,75	IFT régional > IFT > ½ IFT régional
- 0,5	IFT = ½ IFT régional
- 0,25	½ IFT régional > IFT > IFT = 0
0	IFT = 0

2.1- Indicateurs de modulation liés aux insecticides

2.1.3- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

L'utilisation d'insecticides impacte négativement la présence d'auxiliaires des cultures, prédateurs des ravageurs : « the predation rate of aphids measured in the field significantly declined as the amounts of insecticide applied increased, suggesting reduced activity or abundance of natural predators such as beetles and spiders ».

Sources : Emmerson et al. 2016 (R); Desneux, Decourtye, et Delpuech 2007 (R); Geiger et al. 2010 (R)

Méthode de notation :

- Notation dépendant de l'IFT insecticide et de son positionnement par rapport à l'IFT régional.

Pour le calcul des IFT insecticides, s'aider de : <https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/>

- Faire la moyenne des IFT insecticide et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
- 1	IFT ≥ IFT régional
- 0,75	IFT régional > IFT > ½ IFT régional
- 0,5	IFT = ½ IFT régional
- 0,25	½ IFT régional > IFT > IFT = 0
0	IFT = 0

2.1- Indicateurs de modulation liés aux insecticides

2.1.4- Structuration du sol

Hypothèse :

L'utilisation d'insecticides nuit au développement des organismes qui jouent un rôle dans la structuration du sol.

Sources : Wang et al. 2012 (R).

Méthode de notation :

- Notation dépendant de l'IFT insecticide et de son positionnement par rapport à l'IFT régional.

Pour le calcul des IFT insecticides, s'aider de : <https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/>

- **Faire la moyenne des IFT insecticide et appliquer la notation suivante :**

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
- 1	IFT ≥ IFT régional
- 0,75	IFT régional > IFT > ½ IFT régional
- 0,5	IFT = ½ IFT régional
- 0,25	½ IFT régional > IFT > IFT = 0
0	IFT = 0

2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique

2.2.1- Capacité de rétention en eau

Hypothèse :

L'apport de matière organique (par l'augmentation du stock de carbone dans le sol) favorise la formation de macros-agrégats qui participent à la porosité.

Sources : Liu et al., 2014 (A), Khaleel et al., 1981 (R), Paradelo et al., 2019 (A), Diacono et al., 2019 (R), Clivat et al., 2019 (A), Levasseur et al., 2005 (A), Bolinder et al., 2004 (A).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la nature de la matière organique apportée et son efficacité à augmenter le stock de carbone dans les sols. Comme Clivot et al 2019, on considère une teneur en C des résidus organiques de culture de 0.44g/g.
- Calculer la quantité de carbone humifié des résidus qui retourne au sol en appliquant pour chaque culture la formule suivante (kg C/ha/an):

%pailles restituées

$$\begin{aligned}
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1 + \text{facteur_export} * (1 - \%pailles restituées) * \\
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1
 \end{aligned}$$

- Faire ensuite la moyenne des quantités obtenues.
- Calculer la quantité de carbone humifié des PRO épandus, pour chaque type de PRO, sur la surface concernée, en appliquant la formule suivante (kg C/ha/an) :

$$\frac{t \text{ PRO}}{ha} * 10 * \%C * \frac{\text{surface concernée}}{\text{surface totale}} * K1$$

- Faire la moyenne des quantités obtenues.
- Ajouter la moyenne des résidus et des PRO et appliquer la notation suivante :

➤ Note à attribuer	Apport kgC/ha/an concerné
0	≤ 269
0,25	> 269 à ≤ 538
0,5	> 538 à ≤ 807
0,75	> 807 à ≤ 1076
1	> 1076

2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique

2.2.2- Structuration du sol

Hypothèse :

L'apport de matière organique (par l'augmentation du stock de carbone dans le sol) favorise la formation de macros-agrégats qui participent à la porosité.

Sources : Liu et al., 2014 (A), Khaleel et al., 1981 (R), Paradelo et al., 2019 (A), Diacono et al., 2019 (R), Clivat et al., 2019 (A), Levasseur et al., 2005 (A), Bolinder et al., 2004 (A).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la nature de la matière organique apportée et son efficacité à augmenter le stock de carbone dans les sols. Comme Clivat et al 2019, on considère une teneur en C des résidus organiques de culture de 0.44g/g.
- Calculer la quantité de carbone humifié des résidus qui retourne au sol en appliquant pour chaque culture la formule suivante (kg C/ha/an):

%pailles restituées

$$\begin{aligned}
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1 + \text{facteur_export} * (1 - \%pailles restituées) * \\
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1
 \end{aligned}$$

- Faire ensuite la moyenne des quantités obtenues.
- Calculer la quantité de carbone humifié des PRO épandus, pour chaque type de PRO, sur la surface concernée, en appliquant la formule suivante (kg C/ha/an) :

$$\frac{t \frac{PRO}{an}}{ha} * 10 * \%C * \frac{\text{surface concernée}}{\text{surface totale}} * K1$$

- Faire la moyenne des quantités obtenues.
- Ajouter la moyenne des résidus et des PRO et appliquer la notation suivante :

➤ Note à attribuer	Apport kgC/ha/an concerné
0	≤ 269
0,25	> 269 à ≤ 538
0,5	> 538 à ≤ 807
0,75	> 807 à ≤ 1076
1	> 1076

2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique

2.2.3- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

L'apport de matière organique (par l'augmentation du stock de carbone dans le sol) favorise la formation de macros-agrégats qui participent à la porosité.

Sources : Liu et al., 2014 (A), Khaleel et al., 1981 (R), Paradelo et al., 2019 (A), Diacono et al., 2019 (R), Clivat et al., 2019 (A), Levasseur et al., 2005 (A), Bolinder et al., 2004 (A).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la nature de la matière organique apportée et son efficacité à augmenter le stock de carbone dans les sols. Comme Clivat et al 2019, on considère une teneur en C des résidus organiques de culture de 0.44g/g.
- Calculer la quantité de carbone humifié des résidus qui retourne au sol en appliquant pour chaque culture la formule suivante (kg C/ha/an):

%pailles restituées

$$\begin{aligned}
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1 + \text{facteur_export} * (1 - \%pailles restituées) * \\
 & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\
 & * 100 * 0,44 \left(\frac{g}{g} \right) * K1
 \end{aligned}$$

- Faire ensuite la moyenne des quantités obtenues.
- Calculer la quantité de carbone humifié des PRO épandus, pour chaque type de PRO, sur la surface concernée, en appliquant la formule suivante (kg C/ha/an) :

$$\frac{t \frac{PRO}{an}}{ha} * 10 * \%C * \frac{\text{surface concernée}}{\text{surface totale}} * K1$$

- Faire la moyenne des quantités obtenues.
- Ajouter la moyenne des résidus et des PRO et appliquer la notation suivante :

➤ Note à attribuer	Apport kgC/ha/an concerné
0	≤ 269
0,25	> 269 à ≤ 538
0,5	> 538 à ≤ 807
0,75	> 807 à ≤ 1076
1	> 1076

2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique

2.2.4- Fourniture du sol en élément N

Hypothèse :

Le retour des résidus au sol et l'apport de matière organique permettent, suite à leur minéralisation, d'augmenter les réserves azotées du sol.

Sources : Liu et al., 2014 (A), Machet et al., 2017, Bouthier et al., 2014, COMIFER Guide de fertilisation azotée.

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la nature de la matière organique apportée et son efficacité à augmenter le stock d'azote dans les sols.
- Calculer la part d'N des résidus qui retourne au sol en appliquant pour chaque culture la formule :

$$\frac{Qté\ C\ \left(\frac{kg}{ha\ an}\right)\ brut}{\frac{C}{N}}$$

- Faire ensuite la moyenne des quantités obtenues.
- Calculer la quantité N organique dans les PRO épandus, pour chaque type de PRO en appliquant la formule suivante :

$$\frac{Qté\ C\ \left(\frac{kg}{ha\ an}\right)\ brut}{\frac{C}{N_{org}}}$$

- Faire la moyenne de l'ensemble des valeurs de N calculées par type de PRO.
- Ajouter la moyenne des quantités de N calculées issues des résidus de culture à la moyenne des quantités de N calculées issues des PRO et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Apport kgN/ha/an concerné
0	≤ 35
0,25	> 35 à ≤ 70
0,5	> 70 à ≤ 105
0,75	> 140 à ≤ 175
1	> 210

2.2- Indicateurs de modulation liés à l'apport de matière organique

2.2.5- Fourniture du sol en élément P

Hypothèse :

Le retour des résidus au sol et l'apport de matière organique permettent, suite à leur minéralisation, d'augmenter les réserves du sol en phosphore.

Sources : Liu et al., 2014 (A).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la nature de la matière organique apportée et son efficacité à augmenter le stock de phosphore dans les sols.
- Calculer la quantité de P dans les résidus qui retournent au sol en appliquant pour chaque culture la formule suivante :

%pailles restituées

$$\begin{aligned} & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\ & * 100 * QtéP \left(\frac{g}{g} \right) + \text{facteur}_{export} * (1 - \%pailles restituées) * \\ & * \left(\frac{\text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité}{\text{indice de récolte}} - \text{rendement} \left(\frac{q}{ha} \right) * \%humidité \right) \\ & * 100 * QtéP \left(\frac{g}{g} \right) \end{aligned}$$

- Faire ensuite la moyenne des quantités obtenues.
- Calculer la quantité de P dans les PRO épandus, pour chaque type de PRO en appliquant la formule suivante :

$$\frac{\text{Tonnes de PRO épandue}}{an. ha} * P \left(\frac{kg}{t} \right) * \frac{\text{surface concernée}}{\text{surface totale}}$$

- Faire la moyenne de l'ensemble des valeurs de P calculées par type de PRO.
- Ajouter la moyenne des quantités de P calculées issues des résidus de culture à la moyenne des quantités de P calculées issues des PRO et appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Apport P/ha concerné
0	≤ 66
0,25	> 66 à ≤ 132
0,5	> 132 à ≤ 198
0,75	> 198 à ≤ 264
1	> 131,416

2.3- Indicateurs de modulation liés au chaulage

2.3.1- Structuration du sol

Hypothèse :

Le chaulage permet par son amendement basique, de favoriser l'agrégation entre les particules du sol :
« Direct positive effects of liming on soil structure can be ascribed to the flocculating and cementing actions of CaCO₃ itself »

Sources : R.J. Haynes et R. Naidu, 1998 (R).

Méthode de notation :

- Appliquer la notation suivante en fonction des pratiques de chaulage et du pHeau moyen des sols (mesuré avant chaulage) :

Note à attribuer	Pratiques de chaulage
-1	Si pHeau < 6,7 et pas chaulage
0	Dans les autres cas

2.3- Indicateurs de modulation liés au chaulage

2.3.2- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

Le chaulage permet par son amendement basique, de favoriser la cohésion du sol et de limiter les effets de l'érosion.

Sources :

Méthode de notation :

- Appliquer la notation suivante en fonction des pratiques de chaulage et du pH moyen des sols (mesuré avant chaulage) :

Note à attribuer	Pratiques de chaulage
-1	Si pHeau < 6,7 et pas chaulage
0	Dans les autres cas

2.3- Indicateurs de modulation liés au chaulage

2.3.3- Fourniture du sol en élément N

Hypothèse :

Le chaulage permet de favoriser l'assimilation des éléments nutritifs par les végétaux.

Sources : Adams et al., 1984 (A).

Méthode de notation :

- Appliquer la notation suivante en fonction des pratiques de chaulage et du pH moyen des sols (mesuré avant chaulage) :

Note à attribuer	Pratiques de chaulage
-1	Si pHeau < 6,7 et pas chaulage
0	Dans les autres cas

2.3- Indicateurs de modulation liés au chaulage

2.3.4- Fourniture du sol en élément P

Hypothèse :

Le chaulage permet de favoriser l'assimilation des éléments nutritifs par les végétaux.

Sources : Adams et al., 1984 (A).

Méthode de notation :

- Appliquer la notation suivante en fonction des pratiques de chaulage et du pH moyen des sols (mesuré avant chaulage) :

Note à attribuer	Pratiques de chaulage
-1	Si pHeau < 6,7 et pas chaulage
0	Dans les autres cas

2.4- Indicateurs de modulation liés à la récolte en mauvaises conditions

2.4.1- Structuration du sol

Hypothèse :

La récolte en mauvaises conditions peut créer des déformations structurales du sol telles que des compactations qui limite la vie du sol et son effet sur la structuration.

Sources : MASC.

Méthode de notation :

- Utilisation de MASC : indicateur CRMC (proportion de Cultures Récoltées en Mauvaises Conditions)
- Appliquer la formule suivante :

$$\text{CRMC} = (\text{CRMC}_i / \text{NC}) * 100$$

Avec :

CRMC_i : Nombre de cultures faisant l'objet d'une récolte en conditions souvent humides (exemple : maïs, betterave, pomme de terre, sorgho, cultures dérobées, cultures légumières de plein champ récoltées au printemps ou en automne...)

NC : Nombre total de cultures dans la rotation

- Calculer la valeur de CRMC et appliquer la formule suivante : – (CRMC*0,01) → ceci constitue la note.

2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol

2.5.1- Régulation des adventices

Hypothèse :

Le travail du sol peut avoir un effet négatif sur les capacités suppressive des sols via la perturbation des réseaux trophiques à l'origine de la régulation des adventices.

Sources : M.Kuntz et al., 2013 (A), Trichard et al., 2014 (A).

Méthode de notation :

- Utilisation de l'indicateur de profondeur cumulée élaboré par Ariane Chabert
- Recenser par culture, le nombre de passages d'outils ainsi que leur profondeur pour toutes interventions au-delà de 1 cm.
- Si pour un passage, il y a deux outils (un à l'avant et un à l'arrière par exemple), prendre la profondeur la plus importante des deux.
- S'il y a utilisation d'outils travaillant sur des espaces localisées (bineuses, semis à forts écartements...), multiplier la profondeur à la part de la surface perturbée.
- Appliquer par culture, la formule suivante :

• **PROFCUM : Profondeur cumulée**

$$PROFCUM(cm) = \sum \text{profondeurs pour toutes les opérations perturbant le sol au delà de 1cm.}$$

Remarque : pour les opérations de labour, la profondeur de travail est multipliée par deux ; pour l'utilisation de la herse rotative, la profondeur de travail est multipliée par trois.

- Appliquer la formule suivante à la valeur moyenne de PROFCUM : - (PROFCUM ÷ 123) → ceci constitue la note.

2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol

2.5.2- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

Le travail du sol peut avoir un effet négatif sur les capacités suppressive des sols via la perturbation des réseaux trophiques et la présence d'habitats pour les auxiliaires.

Sources :

Méthode de notation :

- Utilisation de l'indicateur de profondeur cumulée élaboré par Ariane Chabert
- Recenser par culture, le nombre de passages d'outils ainsi que leur profondeur pour toutes interventions au-delà de 1 cm.
- Si pour un passage, il y a deux outils (un à l'avant et un à l'arrière par exemple), prendre la profondeur la plus importante des deux.
- S'il y a utilisation d'outils travaillant sur des espaces localisées (bineuses, semis à forts écartements...), multiplier la profondeur à la part de la surface perturbée.
- Appliquer par culture, la formule suivante :

• **PROFCUM : Profondeur cumulée**

$$PROFCUM(cm) = \sum \text{profondeurs pour toutes les opérations perturbant le sol au delà de 1cm.}$$

Remarque : pour les opérations de labour, la profondeur de travail est multipliée par deux ; pour l'utilisation de la herse rotative, la profondeur de travail est multipliée par trois.

- Appliquer la formule suivante à la valeur moyenne de PROFCUM : - (PROFCUM ÷ 123) → ceci constitue la note.

2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol

2.5.3- Capacité de rétention en eau

Hypothèse :

Le travail du sol de type labour bouleverse les canaux naturels permettant la circulation de l'eau et empêche un stockage optimal de par la semelle créée.

Sources : B.D. Soane et al., 2012 (R).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la fréquence de labours et de récolte en mauvaises conditions
- A l'échelle de la rotation, appliquer la formule ci-dessous :

$$\frac{\text{Nombre de labours en mauvaises conditions}}{\text{Nombre de labours}}$$

- A partir de la valeur obtenue, la multiplier par (-1) → ceci constitue la note.

2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol

2.5.4- Structuration du sol

Hypothèse :

Le travail du sol de type labour induit une semelle qui tasse et expose fortement le sol à la recompaction. De plus, il détruit les bioturbations des vers de terre

Sources : B.D. Soane et al., 2012 (R).

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la fréquence de labour et de récolte en mauvaises conditions
- A l'échelle de la rotation, appliquer la formule ci-dessous :

$$\frac{\text{Nombre de labour en mauvaises conditions}}{\text{Nombre de labour}}$$

- A partir de la valeur obtenue, la multiplier par (-1) → ceci constitue la note.

2.5- Indicateurs de modulation liés au travail du sol

2.5.5- Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion

Hypothèse :

Le travail du sol de type labour induit une semelle qui tasse et expose fortement le sol à la recompaction. De plus, il détruit les bioturbations des vers de terre

Sources :

Méthode de notation :

- Indicateur basé sur la fréquence de labour et de récolte en mauvaises conditions
- A l'échelle de la rotation, appliquer la formule ci-dessous :

$$\frac{\text{Nombre de labour en mauvaises conditions}}{\text{Nombre de labour}}$$

- A partir de la valeur obtenue, la multiplier par (-1) → ceci constitue la note.

2.6- Indicateurs de modulation liés à l'agriculture de conservation

Hypothèse :

L'allongement des rotations, la couverture permanente des sols et la réduction du travail du sol forment une synergie qui crée des effets positifs aux services de régulation des adventices, de capacité de rétention en eau, de structuration du sol et de fourniture en éléments N et P.

Sources : M.Kuntz et al, 2013 (A), Kleijn et al., 2019 (MA).

Méthode de notation :

- Indicateurs permettant d'accorder un point, sous conditions, aux services suivants :
 - Régulation des adventices
 - Capacité de rétention en eau
 - Structuration du sol
 - Stabilisation du sol et contrôle de l'érosion
 - Fourniture du sol en élément N
 - Fourniture du sol en élément P

- Pour que chaque service ait un point supplémentaire, il faut que la moyenne respective des indicateurs de rotation et de couverture du sol soit supérieure ou égale à 0,75 et inférieures à - 0,25 pour le travail du sol. Si ces conditions ne sont pas remplies, indiquer « NA » dans la grille de dépouillement.

2.7- Indicateurs de modulation liés à la diversité intra-parcellaire due à la flore adventice

2.7.1- Pollinisation

Hypothèse :

La flore adventice constitue un habitat diversifié pour les auxiliaires des cultures.

Sources : Dassou et Tixier 2016 (MA), Petit et al., 2015a (A), Mézière et al., 2015 (A), Marshall et al., 2003 (R), Fried et al., 2008 (A), Trichard et al., 2013 (A), Quinio et al., 2017 (A).

Méthode de notation :

- Quantifier avant la première intervention sur la culture de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre de pieds avant 1 ^{ère} intervention
0	0
0,25	> 0 à ≤ 100
0,5	> 100 à ≤ 200
0,75	> 200 à ≤ 300
1	> 300

- Quantifier avant la première intervention sur la culture de blé (semis ou travail du sol), le nombre d'espèces au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre d'espèces avant 1 ^{ère} intervention
0	0
0,25	> 0 à ≤ 4
0,5	> 4 à ≤ 8
0,75	> 8 à ≤ 12
1	> 12

- Quantifier avant la récolte de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre de pieds avant récolte
0	0
0,25	> 0 à ≤ 12,5
0,5	> 12,5 à ≤ 25
0,75	> 25 à ≤ 37,5
1	> 37,5

- Quantifier avant récolte de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre d'espèces avant récolte
0	0
0,25	> 0 à ≤ 4
0,5	> 4 à ≤ 8
0,75	> 8 à ≤ 12
1	> 12

- Faire la moyenne de l'ensemble des note attribuées → ceci constitue la note.

2.7- Indicateurs de modulation liés à la diversité intra-parcellaire due à la flore adventice

2.7.2- Régulation des ravageurs

Hypothèse :

La flore adventice constitue un ensemble d'habitats diversifiés pour les auxiliaires des cultures.

Sources : Dassou et Tixier 2016 (MA), Petit et al., 2015a (A), Mézière et al., 2015 (A), Marshall et al., 2003 (R), Fried et al., 2008 (A), Trichard et al., 2013 (A), Quinio et al., 2017 (A).

Méthode de notation :

- Quantifier avant la première intervention sur la culture de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre de pieds avant 1 ^{ère} intervention
0	0
0,25	> 0 à ≤ 100
0,5	> 100 à ≤ 200
0,75	> 200 à ≤ 300
1	> 300

- Quantifier avant la première intervention sur la culture de blé (semis ou travail du sol), le nombre d'espèces au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre d'espèces avant 1 ^{ère} intervention
0	0
0,25	> 0 à ≤ 4
0,5	> 4 à ≤ 8
0,75	> 8 à ≤ 12
1	> 12

- Quantifier avant la récolte de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre de pieds avant récolte
0	0
0,25	> 0 à ≤ 12,5
0,5	> 12,5 à ≤ 25
0,75	> 25 à ≤ 37,5
1	> 37,5

- Quantifier avant récolte de blé (semis ou travail du sol), le nombre de pieds au m² d'adventices nuisibles et non nuisibles confondus. Appliquer la notation suivante :

Note à attribuer	Nombre d'espèces avant récolte
0	0
0,25	> 0 à ≤ 4
0,5	> 4 à ≤ 8
0,75	> 8 à ≤ 12
1	> 12

- Faire la moyenne de l'ensemble des note attribuées → ceci constitue la note.

3- Niveau d'utilisation effective des potentiels de services écosystémiques par l'agriculteur pour la production

3.1- Fourniture de nutriments N versus fertilisation minérale N

1. Intensité de fertilisation N

- Apport d'azote minéral réalisé
- Moyenne régionale d'apport par culture ou besoin en N par quintal et à ramener par rapport au rendement
- Note à attribuer par culture, puis faire la moyenne → ceci constitue la note.

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	$\frac{1}{2}$ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = $\frac{1}{2}$ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > $\frac{1}{2}$ Apport régional
1	Apport \geq Apport régional

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,25	Intervention selon rotation/culture
0,5	Bilan azoté calculé
0,75	Utilisation méthode de précision Jubil/Farmstar/N-tester
1	Agriculture de précision : drone/coupeure de tronçons

3.2- Fourniture de nutriments P versus fertilisation minérale P

1. Intensité de fertilisation P

- Apport phosphore minéral réalisé
- Moyenne régionale d'apport par culture ou besoin P par quintal calculé selon la teneur P₂O₅ dans les exports * coefficient multiplicatif et ramener par rapport au rendement

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	½ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = ½ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > ½ Apport régional
1	Apport ≥ Apport régional

- Note à attribuer par culture, puis faire la moyenne → ceci constitue la note.

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,5	Intervention selon rotation/culture (exigeante ou pas)
1	Bilan P Olsen

3.3- Régulation des adventices versus utilisation d'herbicides et travail du sol

1. Intensité d'utilisation d'herbicide
 - IFT herbicide par culture
 - Moyenne régionale par culture
 - Note à attribuer par culture, puis faire la moyenne → ceci constitue la note.

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	$\frac{1}{2}$ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = $\frac{1}{2}$ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > $\frac{1}{2}$ Apport régional
1	Apport \geq Apport régional

2. Intensité du travail du sol

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
0	Pas de labour
0,5	Labour occasionnel
1	Labour systématique (maïs tous les ans, autres cultures tous les 2 ans)

3. Faire la moyenne des notes d'intensité d'utilisation d'herbicide et travail du sol par culture.
4. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,25	Intervention selon rotation/culture/parcelle
0,5	Observation du salissement
0,75	Comptage et identification
1	Drone et robot de télédétection

3.4- Régulation des maladies fongiques versus utilisation de fongicides

1. Intensité d'utilisation de fongicide
 - IFT fongicide par culture
 - Moyenne régionale par culture
 - Note à attribuer par culture, puis faire la moyenne → ceci constitue la note.

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	$\frac{1}{2}$ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = $\frac{1}{2}$ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > $\frac{1}{2}$ Apport régional
1	Apport \geq Apport régional

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,25	Intervention selon les années et avertissements
0,5	Observation de la pression
0,75	Comptage et identification
1	Drone et robot de télédétection

3.5- Régulation des ravageurs versus utilisation d'insecticides

1. Intensité d'utilisation d'insecticide
 - IFT insecticide par culture
 - Moyenne régionale par culture
 - Note à attribuer par culture, puis faire la moyenne → ceci constitue la note.

Note à attribuer	Fertilisation par rapport à la moyenne régionale
0	Pas d'apport
0,25	$\frac{1}{2}$ Apport régional > Apport > Pas d'apport
0,5	Apport = $\frac{1}{2}$ Apport régional
0,75	Apport régional > Apport > $\frac{1}{2}$ Apport régional
1	Apport \geq Apport régional

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,25	Intervention selon les années et avertissements
0,5	Observation de la pression
0,75	Comptage et identification
1	Drone et robot de télédétection

3.6- Structuration du sol versus travail du sol

1. Intensité de travail du sol

Note à attribuer	Positionnement de l'IFT insecticide par rapport à l'IFT régional
0	Pas de labour
0,5	Labour occasionnel
1	Labour systématique (maïs tous les ans, autres cultures tous les 2 ans)

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,33	Intervention selon les cultures/rotation et parcelles
0,66	Test bêche sur quelques parcelles
1	Test bêche systématiquement

3.7- Capacité de rétention et restitution de l'eau versus irrigation

1. Intensité de l'irrigation

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Pas d'irrigation
1	Irrigation

2. Prise en compte de l'état de l'écosystème :

Note à attribuer	Actions décisionnelles avant intervention
0	Aucune action avant intervention
0,33	Intervention selon pluviométrie
0,66	Bilan hydrique
1	Utilisation de sonde tensiométriques ou capacitives

4- Calcul des indicateurs finaux

Note de potentiel de SE

Chaque note produite via les indicateurs décrits précédemment dans la partie « Niveau de potentiel de fourniture des SE » est comprise entre 0 et 1. Cependant, plusieurs pratiques peuvent contribuer au potentiel de fourniture des SE.

- On moyenne, par service, les notes obtenues pour toutes les pratiques relatives à ce service.

Exemple : $Note_{[Régulation\ des\ adventices\ Potentiel]}$

$$= \frac{Note_{rotation} + Note_{Couverture\ du\ sol} + Note_{Mélange\ d'espèces}}{3}$$

Note de modulation de SE

Chaque note produite via les indicateurs décrits précédemment dans la partie « Niveau de modulation du potentiel des SE » est peut-être :

- négative signifiant une modulation par les pratiques à la baisse du potentiel
- positive signifiant une modulation par les pratiques à la hausse du potentiel
- neutre (=0) signifiant pas d'impact sur le potentiel
- Non Attribuée (NA) : certaines pratiques synergiques (agriculture de conservation)
- On moyenne, par service, les notes de toutes les pratiques concernées (pas NA) afin de calculer la modulation moyenne du potentiel.

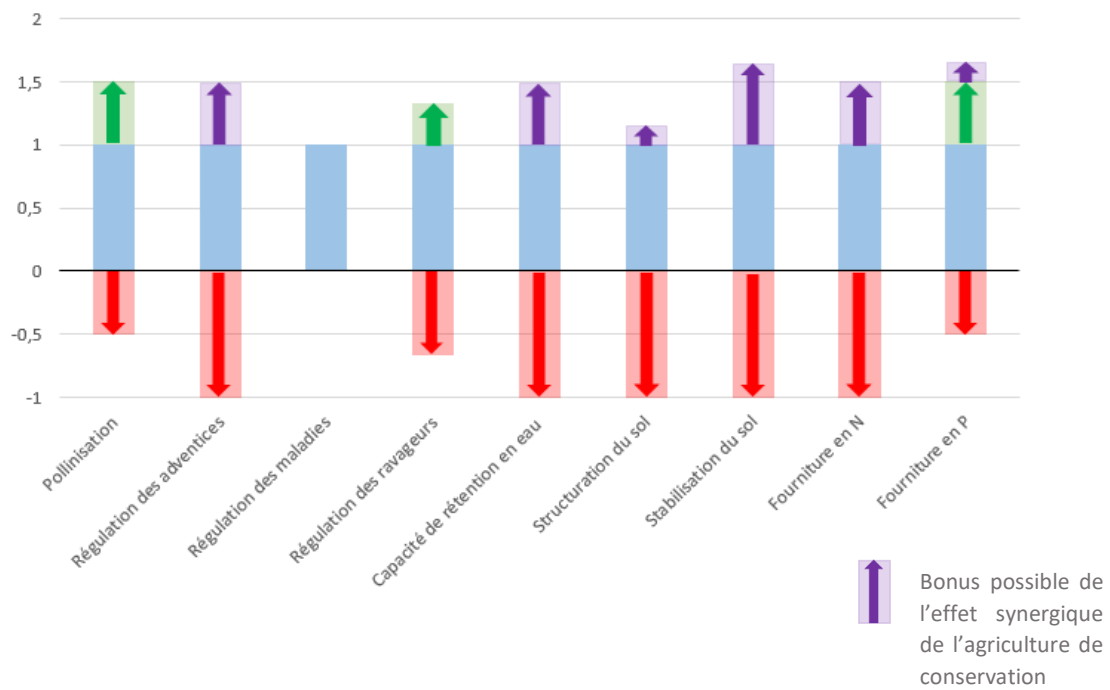
Note de potentiel modulé (potentiel modulé à la hausse ou à la baisse)

- On additionne la note de potentiel et la note de modulation service par service.

Dû aux notes « NA » et à des notes par service ayant différents intervalles de valeur pour la modulation (par exemple, entre [-0,5 ; 0,5] ou [-1 ; 0] etc.) on obtient des intervalles de valeur différentes selon les services :

Pollinisation	[-0,5 ;1,5]
Régulation des adventices	[0 ;1]
Régulation des maladies	[0 ;1]
Régulation des ravageurs	[-2/3 ;1/3]
Rétention de l'eau	[-1 ;1]
Structuration du sol	[-1 ;1]
Fourniture en N	[-1 ;1]
Fourniture en P	[-0,5 ;1,5]
Contrôle de l'érosion	[-1 ;1]

Attention, pour l'effet synergique de l'ACS l'échelle ne sera pas la même, on pourra transgresser ces intervalles.



Variation possible du potentiel modulé de chaque service écosystémique

Note de potentiel modulé tous services

- On moyenne toutes les notes obtenues tous services confondus.

Note d'effectif

- On moyenne toutes les notes obtenues tous services confondus.

Annexe n°3 : Questionnaire d'enquête

Date d'entretien		Heure début-fin	
NOM		Enquêteur n°1	
Prénom		Enquêteur n°2	
Portable		Email	
Enregistrement	Oui/non	Enquête n°	

Présentation des enquêteurs et du projet

Le but du projet de thèse est d'évaluer :

(1) le potentiel de rendement/production des exploitations agricoles et s'il est totalement utilisé actuellement ;

(2) et en fonction, si cela procure une vulnérabilité face aux changements climatiques et aux crises économiques.

L'objectif est d'identifier ce qui permet aux exploitations d'être moins vulnérable tout en conservant une rentabilité et une charge de travail raisonnable.

Pour cela, on va mesurer :

- Le potentiel agronomique de production en fonction des caractéristiques de sol, des rotations et des habitats semi-naturels de l'exploitation ;
- Si certaines des pratiques réalisées diminuent ou augmentent ce potentiel (*par exemple les insecticides peuvent affecter des pollinisateurs*) ;
- Dans quelle mesure ce potentiel est actuellement mobilisé ;
- Si à long terme certaines pratiques impactent ce potentiel ;
- Et enfin, dans un deuxième temps, si tout ça vous procure une moindre sensibilité/une grande résistance face aux changements climatiques et aux crises économiques

Nous allons enquêter une trentaine d'agriculteurs dans le Grand Est. Les résultats seront anonymes et serviront à une publication scientifique. Une restitution individuelle vous sera faite et une réunion de restitution avec la chambre d'agriculture Grand Est sera organisée.

L'entretien dure environ 1h30 pour décrire le ou les systèmes de culture dominants de l'exploitation, son environnement et enfin finir sur une discussion ouverte sur vos perceptions sur le potentiel de vos parcelles.

Généralités sur l'exploitation

Pouvez-vous présenter votre exploitation et grands objectifs en 5 minutes (support carte)

→ *Surfaces, sols, employés, circuit de vente, historique de la ferme*

Sur la carte, pouvez-vous distinguer les grands types de sol et placer les bandes enherbées et prairies adjacentes au champ, fleuries type semées ou gérées comme telles (= 1 fauche), les haies, et enlever les prairies (X) ?

Etes-vous en zone vulnérable ?

Est-ce que l'on peut utiliser les informations de votre logiciel de gestion ?

Choix du(des) système(s) de cultures dominant(s) et des parcelles homogènes

Quel est selon vous le ou les systèmes de culture dominant(s) sur l'exploitation ?
Càd quelle est la ou les rotation(s) qui sont les plus importantes ?

Quelle surface par culture ?

Plus importantes en termes de ... surface, économique... ? Si c'est rentabilité quel est le système de culture dominant en termes de surface ?

Pouvez-vous exclure les parcelles qui ont reçu autre chose que les cultures de cette rotation et celle qui n'ont pas eu toutes les cultures de la rotation ou qui ont certaines particularités (inondables etc., description parcelles) ? (X) ? (À placer sur la carte) *On ne parlera plus de ces parcelles dorénavant.*

Avez-vous des analyses de sol sur les parcelles indiquées précédemment ? et pourquoi ? **(Renseigner tableau analyse sol Parcelles)**

Présence d'agroforesterie **(Renseigner tableau analyse sol Parcelles)** ?

Séquences de cultures et couverts dans la rotation

(Renseigner tableau description SdC)

→ *Par SdC, par culture*

Quelles cultures dans la rotation et quelles intercultures après quelles cultures ?

Quelles variétés utilisez-vous pour les cultures et les intercultures ?

Si pas de couverts, mulchs ? Sur quelle interculture ?

Quelles dates de semis des couverts et cultures en moyenne par culture sur toutes les parcelles concernées ?

Quelles dates de récolte des cultures et de destruction des couverts en moyenne par culture sur toutes les parcelles concernées ?

Faites-vous du relais cropping ?

Faites-vous des cultures inter-rang ?

Mélanges de variétés (cultures de rentes et couverts intermédiaires) ?

Mélanges d'espèces (cultures de rentes et couverts intermédiaires) ?

Comment gérez-vous les résidus pour les cultures et les couverts ? A définir en termes de fréquence pour les parcelles concernées par la culture : exportés (%), restitués (%)

Interventions

Travail du sol

(Renseigner tableau Description du travail du sol)

→ *Par Sdc, par culture*

Labour/TCS/semis-direct ?

Nombre passage avec le semi

Itinéraire classique (semi, labour, reprise, récolte)

Outils

Profondeurs

Fréquences de labour jugés en mauvaises conditions (humide) par culture en %

Autres interventions

→ *Par Sdc, par culture*

Raisonnez-vous le chaulage par culture ou par parcelle ?

Chaulage ? Pourquoi ? Où ? Quel pH avant chaulage ?

(Voir tableau Autres interventions)

→ *Par culture*

Utilisation d'agents biologiques (trichogrammes, *Bacillus thuringiensis*) et biostimulants ?

IFT (dose et fréquence) insecticide, herbicide, et fongicide par an en moyenne sur les parcelles recevant la culture

N, P, K apporté sous forme minérale par an en moyenne sur les parcelles recevant la culture

Autres apports organiques ?

Quel(s) système(s) d'irrigation utilisez-vous ?

Quelles quantités d'irrigation par an en moyenne sur les parcelles recevant la culture appliquez-vous ?

Faites-vous d'autres interventions que celles décrites précédemment ?

Description du sol par parcelle du SdC

(Renseigner tableau Parcelles)

→ *Par parcelle*

Quel type de sol ? *Description*

pHeau avant chaulage?

Taux d'argile, limon, sable ?

Taux de MO ?

Bilan P Olsen ou JH

Niveau de diversité adventice moyen sur les parcelles homogènes du SdC :

→ *Pour le blé*

Avant la première intervention pour le blé (semi ou travail du sol), quel est le nombre de plants d'adventices nuisibles et non nuisibles en moyenne sur les parcelles du SdC par m² ?

Avant la première intervention pour le blé (semi ou travail du sol), quel est le nombre de d'espèces d'adventices nuisibles et non nuisibles en moyenne sur les parcelles du SdC par m² ?

A la récolte du blé, quel est le nombre de plants d'adventices nuisibles et non nuisibles en moyenne sur les parcelles du SdC par m² ?

A la récolte du blé, quel est le nombre de d'espèces d'adventices nuisibles et non nuisibles en moyenne sur les parcelles du SdC par m² ?

Prise en compte de l'écosystème

Actions décisionnelles avant intervention de fertilisation azoté

Aucune action avant intervention
Intervention selon rotation/culture
Bilan azoté calculé
Utilisation méthode de précision Jubil/Farmstar/N-tester
Agriculture de précision : drone/coupure de tronçons

Actions décisionnelles avant intervention de fertilisation phosphorée

Aucune action avant intervention
Intervention selon rotation/culture (exigeante ou pas)
Bilan P Olsen

Actions décisionnelles avant intervention pour réguler les adventices

Aucune action avant intervention
Intervention selon rotation/culture/parcelle
Observation du salissement
Comptage et identification
Drone et robot de télédétection

Actions décisionnelles avant intervention pour réguler les maladies

Aucune action avant intervention
Intervention selon les années et avertissements
Observation de la pression
Comptage et identification
Drone et robot de télédétection

Actions décisionnelles avant intervention pour réguler les ravageurs

Aucune action avant intervention
Intervention selon les années et avertissements
Observation de la pression
Comptage et identification
Drone et robot de télédétection

Actions décisionnelles avant intervention de travail du sol

Aucune action avant intervention
Intervention selon les cultures/rotation et parcelles
Test bêche sur quelques parcelles
Test bêche systématiquement

Actions décisionnelles avant irrigation

Aucune action avant intervention
Intervention selon pluviométrie
Bilan hydrique
Utilisation de sondes tensiométriques ou capacitives

Perception du potentiel de fourniture de l'écosystème

Vous semble-t-il que des pollinisateurs (abeilles, syrphes) sont présents sur vos parcelles ?



Vous semble-t-il que des organismes (insectes ou champignons) qui réduisent le nombre de graines d'adventices sont présents sur vos parcelles ?



En dehors d'opération de biocontrôle et des applications d'insecticides, pensez-vous que les prédateurs naturels aux ravageurs (comme les coccinelles prédatrices des pucerons du colza) sont présents sur vos parcelles et aux alentours dans votre environnement ?

Plutôt absents  **Plutôt présents**

En dehors de vos interventions phytosanitaires, pensez-vous que les maladies fongiques sont régulées par la diversité de vos parcelles et de votre environnement ou encore grâce choix de variétés résistantes ?

Plutôt non  **Plutôt oui**

Vous semble-t-il que le sol des parcelles a une bonne capacité de rétention d'eau ?

Plutôt non  **Plutôt oui**

En dehors des effets de vos interventions de travail du sol, que pensez-vous de la structuration du sol vos parcelles ?

Plutôt mauvaise  **Plutôt bonne**

Hors drainages artificiels, que pensez-vous de la capacité à contrôler l'érosion sur vos parcelles ?

Plutôt mauvaise  **Plutôt bonne**

Mis à part les intrants minéraux, apports de matière organique et modifications des propriétés physico-chimiques que vous réalisez, pensez-vous que votre sol permet de fournir les éléments nutritifs nécessaires aux cultures ?

Plutôt non  **Plutôt oui**

Perception d'utilisation effective des services de l'écosystème

Etes-vous dépendants des pollinisateurs pour assurer la pollinisation des cultures ?

Plutôt non  **Plutôt oui**

Selon vous, dans vos parcelles la régulation des adventices est-elle assurée par les herbicides et travail du sol ou comptez-vous plutôt sur les rotations, couverts, mélanges etc. ?

Plutôt herbicide et travail du sol  Plutôt diversification

Selon vous, le contrôle des maladies fongiques est-il plutôt réalisé par les fongicides ou plutôt par l'utilisation de mélanges, rotations diversifiées, les variétés résistantes ?

Plutôt fongicides  Plutôt diversification

Selon vous, le contrôle des ravageurs est-il plutôt réalisé par les insecticides ou plutôt par l'utilisation de mélanges, de rotations diversifiées, les haies, bandes fleuries et le paysage de manière plus générale etc. ?

Plutôt insecticides  Plutôt diversification

Selon vous, l'eau nécessaire à vos cultures est-elle fournie globalement par l'irrigation ou bien par la capacité de rétention de l'eau du sol (et donc aussi des pluies) ?

Plutôt irrigation  Plutôt sol

D'après vous, les opérations de travail du sol favorisent la structure du sol ?

Plutôt non  Plutôt oui

Quels sont les déterminants, qu'est ce qui joue sur le contrôle de l'érosion ?

Selon vous, vos cultures bénéficient de nutriments plutôt apportés par les engrais, matière organique ou bien provenant du sol ?

Plutôt intrants



Plutôt sol

Résilience

Période et fréquence des pics de travail sur 10 ans par culture

Fréquence de maladies et ravageurs majeurs sur les 10 dernières années par culture

Rendements sur les 10 dernières années par culture

Par culture depuis 10 ans les marges brutes, semi-nettes ou plus si disponible pour calculer l'excédent brut d'exploitation