

# VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Intégration d'indicateurs évaluant les performances des systèmes agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques à l'outil Systeme <sup>®</sup>

Thomas Denoirjean

Option CALICE

Année 2018

ARVALIS  
Institut du végétal

 INRA  
SCIENCE & IMPACT

 GRANDE CULTURE  
GCHP<sub>2E</sub>  
Hautes Performances Economiques - Environnementales

  
VetAgro Sup



# VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Intégration d'indicateurs évaluant les performances des systèmes agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques à l'outil Systeme ®

Thomas DENOIRJEAN

Option CALICE

« Concevoir et Accompagner l'innov'action en agronomie »

Année 2018

**Structure de stage :** ARVALIS Institut du végétal et INRA

**Maîtres de stage :** Christian BOCKSTALLER et Véronique TOSSER

**Tuteur de stage :** Adrien PINOT

ARVALIS  
Institut du végétal

 INRA  
SCIENCE & IMPACT

 GRANDE CULTURE  
GCHP<sub>2E</sub>  
Hautes Performances Economiques - Environnementales

  
VetAgro Sup



*« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »*



## Remerciements

Je souhaite remercier chaleureusement Véronique Tosser et Christian Bockstaller pour leur encadrement et leur implication dans la réalisation de ce stage. Un grand merci pour votre disponibilité et vos conseils qui m'ont été d'une grande aide. Ce mémoire n'aurait pas été ce qu'il est sans vos nombreuses relectures, et mes « coquilles » ne vous ont pas facilité la tâche !

Merci aussi à Mr Pinot qui a fait confiance à mon autonomie et m'a laissé une liberté que j'ai grandement appréciée.

Un grand merci à toutes les personnes de la station de Boigneville avec qui j'ai pu interagir dans le cadre de mes missions, et qui ont pu m'apporter leur expertise avec spontanéité : Lionel Jouy pour la manipulation de Systerre ®, Julie Callens pour la cartographie, Patrick Retaureau et Catherine Vacher pour leur connaissance des systèmes présents sur la station de Boigneville.

Je souhaite aussi remercier Nicolas Cerrutti, Adélaïde Wissocq et Emeric Emonet pour les échanges autour des résultats, ainsi que Frédérique Angevin pour son accord quant à l'utilisation de DEXiPM et son regard critique sur le travail produit. Merci aussi à André Chabert d'avoir pris de son temps pour réaliser les calculs d'Auximore.

Je pense bien sûr aux autres stagiaires/CDD/CDI de la station pour les temps de discussion le midi et à la pause-café, ainsi que pour les moments passés en dehors du travail. Une pensée va aussi aux collègues compétiteurs des séances de babyfoot le midi.

Ce stage clôture mes études et tourne la page d'une aventure riche en rencontres et en expériences.





## Résumé

Le Groupement d'Intérêt Scientifique « Grandes Cultures à Haute Performance Economique et Environnementale » (GIS HP2E) étudie dans le cadre de ses activités l'évaluation de la « double performance » économique et environnementale des exploitations agricoles. Une piste envisagée pour y parvenir est l'intégration d'indicateurs renseignant l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques à l'outil Systerre ®.

Une étude a été menée afin de répondre à cette problématique. Dans un premier temps, un état de l'art des méthodes permettant l'évaluation des pratiques agricoles sur la biodiversité et ses services a été réalisé. Ensuite, les indicateurs ont été triés dans l'optique d'en réaliser le calcul à l'aide des données issues de la station de Boigneville de l'institut Arvalis. Les indicateurs retenus sont six indicateurs de cause (p. ex. : dose d'azote) et des indicateurs issus de quatre méthodes et modèles qualitatifs utilisant l'outil DEXi. Quatre systèmes de culture différents ont été évalués : un système « raisonné » (RAIS), un système intégré (INT), un système sans-labour (MACH) et enfin un système en Agriculture Biologique (BIO).

Les calculs ont mis en évidence le gradient d'intensification suivant : BIO<INT<RAIS<MACH. Les indicateurs de cause et les deux versions de DEXiPM ont présenté les résultats les plus fiables parmi les méthodes retenues. Ces indicateurs sont donc des bons candidats pour une intégration à Systerre ®. Plusieurs critères ont été identifiés afin de choisir quels indicateurs favoriser : le nombre de données d'entrées nécessaires, la présence de données liées au paysage, ou encore le détail et la précision de l'évaluation réalisée.

**Mots clés :** biodiversité, services écosystémiques, effets des pratiques agricoles, évaluation multicritère

## Summary

A French Scientific Interest Group « Highly Economically and Environmentally Performant Crops » (GIS HP2E) is managing research activities on the conciliation of both economic and environmental performance of farms (concept called “double performance”). One way identified to work on this issue was to integrate indicators evaluating the effect of cropping practices on biodiversity and ecosystem services to the French evaluation tool Systerre ®.

A study has been carried in order to achieve this goal. First, a literature review of the method evaluating the effects of cropping practices on biodiversity and its services has been carried. Then some indicators have been selected in order to calculate them with the data of the Boigneville experimental station of the French Arvalis institute. The selected indicators were six causal indicators (*e. g.* nitrogen fertilization), and indicators found in four methods and models using the DEXi structure. Four cropping systems were evaluated: a conventional (RAIS), an integrated (INT), a no-till (MACH) and an organic (BIO) system.

Calculations showed the following intensification gradient: BIO<INT<RAIS<MACH. Causal indicators and those from two versions of the model DEXiPM showed to be the more reliable among the calculated indicators. Thus those indicators are good candidates for integration in the Systerre ® tool. Different criteria have been identified to choose which indicators should be added first: the required number of inputs, the need of landscape data or the precision and level of detail of the evaluation.

**Key words:** biodiversity, ecosystems services, cropping practices impacts, multi-criteria analysis



# Table des matières

REMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

GLOSSAIRE

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexte : durabilité, biodiversité et services écosystémiques en milieu agricole .....</b>	<b>3</b>
1.1 Le concept de durabilité .....	3
1.2 La biodiversité en milieu agricole .....	3
1.3 Les services écosystémiques .....	4
1.4 La remise en cause de l'intensification de l'agriculture et l'érosion de la biodiversité .....	5
1.5 Des enjeux de la sauvegarde de la biodiversité aux besoins d'évaluation .....	6
1.6 L'évaluation multicritère, concepts et définitions .....	7
1.7 Les particularités de l'évaluation de la biodiversité et des services écosystémiques en milieu agricole.....	8
<b>2. Etat de l'art : Méthodes et indicateurs estimant a priori l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques.....</b>	<b>9</b>
2.1 Cadrage de l'état de l'art .....	10
2.2 Description des méthodes.....	11
a) Indicateurs de cause.....	11
b) Indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple .....	11
i. Approches qualitatives basées sur arbres de décision (DEXi) .....	11
ii. Approches continues avec arbre de décision (logique floue) : MODAM (Sattler <i>et al.</i> , 2010) ..	12
iii. Approches quantitatives utilisant l'occupation du sol .....	13
iv. Méthodes basées sur des notes : SALCA (Jeanneret <i>et al.</i> , 2014).....	13
v. Méthodes basées sur un modèle statistique .....	13
vi. Equations prenant en compte les processus.....	14
c) Indicateurs prédictifs basés sur un modèle complexe .....	14
<b>3. Problématique .....</b>	<b>14</b>
<b>4. Méthodologie : choix des méthodes et calcul des indicateurs .....</b>	<b>16</b>
4.1 Choix des méthodes d'évaluation.....	16
a) Grille d'analyse .....	16
b) Sélection des méthodes en vue du calcul avec les données des essais de Boigneville .....	17



c)	Détail des méthodes retenues .....	17
4.2	Choix des systèmes à évaluer .....	18
a)	Présentation des systèmes .....	18
b)	Choix des systèmes .....	19
4.3	Collecte des données et calcul des indicateurs .....	19
a)	Présentation du parcellaire de Boigneville .....	19
b)	Collecte des données .....	19
4.4	Calcul des indicateurs : .....	20
a)	Calcul de l'indicateur « Potentiel Syrphe » des arbres DEXi Auximore .....	20
b)	Uniformisation du contexte paysager, système BIO .....	20
c)	Représentation graphique des résultats .....	20
<b>5.</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>21</b>
5.1	Indicateurs de cause.....	21
5.2	Indicateurs EFESE .....	22
5.3	Méthodes DEXi.....	23
a)	Indicateurs permettant d'évaluer la biodiversité globale .....	23
b)	Indicateurs ennemis naturels volants/insectes volants .....	24
c)	Ennemis naturels rampants/Ennemis naturels du sol .....	25
d)	Flore Adventice .....	26
e)	Flore naturelle/semi-naturelle.....	27
f)	Cas particulier : indicateurs micro-organismes du sol MASC 2.0.....	27
g)	Synthèse des résultats .....	27
<b>6.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>28</b>
6.1	Le choix restreint des méthodes .....	28
6.2	Calcul annuel pour l'évaluation de SdC.....	29
6.3	Discussion des résultats.....	29
6.4	Confrontation des indicateurs calculés à Systerre ®.....	31
6.5	Suite de l'étude.....	32
	<b>Conclusion.....</b>	<b>33</b>
	Références Bibliographiques .....	35
	ANNEXE I : Descriptif détaillé de méthodes recensées dans l'état de l'art.....	I
	ANNEXE II : Résultat complets des méthodes DEXiPM et MASC.....	IX
	ANNEXE III : Détails des variations interannuelles des indicateurs issus des méthodes DEXi.....	XXII



## Liste des figures

**Figure 1** : Synthèse schématique des différentes catégories de biodiversité, d'après Maljean et Peeters (2001)

**Figure 2** : Typologie et nature des services écosystémiques en milieu agricole, d'après Therond *et al.* (2017)

**Figure 3** : Etat des lieux initial

**Figure 4** : Faisabilité et puissance explicative des différents types d'indicateurs, d'après Bockstaller *et al.* (2011)

**Figure 5** : Répartition des SdC étudiés sur le parcellaire de la station expérimentale de Boigneville, 2009

**Figure 6** : Répartition des SdC étudiés sur le parcellaire de la station expérimentale de Boigneville, 2010/11

**Figure 7** : Gradient d'intensification des systèmes, selon les indicateurs de cause

**Figure 8** : Résultat des indicateurs EFESE : Abondance potentielle des carabes

**Figure 9** : Résultats des indicateurs EFESE : Régulation potentielle des pucerons

**Figure 10** : Moyenne des notes d'efficacité de désherbage en sol superficiel de différents systèmes, d'après Pottier *et al.* (2013)





## Liste des tableaux

**Tableau 1** : Détail des critères renseignant chaque indicateur au sein de la grille d'analyse

**Tableau 2** : Récapitulatif des méthodes écartées en fonction des critères de sélection

**Tableau 3** : Indicateurs retenus pour un calcul avec les données collectées sur la station de Boigneville

**Tableau 4** : Résultats des indicateurs de cause

**Tableau 5** : Abondance et diversité des carabes pour 3 systèmes de la station expérimentale de Boigneville, année de récolte 2014 et 2015. D'après Tosser et Chapelin-Viscardi (2016)

**Tableau 6** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la biodiversité – systèmes RAIS et INT

**Tableau 7** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la biodiversité – systèmes MACH et BIO

**Tableau 8** : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la biodiversité : impact du contexte paysager du système BIO

**Tableau 9** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels et insectes volants – systèmes RAIS et INT

**Tableau 10** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels et insectes volants – systèmes MACH et BIO

**Tableau 11** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et de la macrofaune du sol – systèmes RAIS et INT

**Tableau 12** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et de la macrofaune du sol – systèmes MACH et BIO

**Tableau 13** : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et ceux du sol : impact du contexte paysager du système BIO

**Tableau 14** : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la flore adventice – systèmes RAIS et INT

**Tableau 15** : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la flore adventice – systèmes MACH et BIO

**Tableau 16** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la flore naturelle/semi-naturelle – systèmes RAIS et INT

**Tableau 17** : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la flore naturelle/semi-naturelle – systèmes MACH et BIO

**Tableau 18** : Résultats de l'indicateur "Conservation des micro-organismes du sol" - Modèle MASC 2.0

**Tableau 19** : Conclusions générales de la comparaison des méthodes et des systèmes

**Tableau 20** : Récapitulatif des données nécessaires au calcul des indicateurs



## **Table des sigles et abréviations**

**AB** : Agriculture Biologique

**ACTA** : Association de Coordination Technique Agricole

**CICES** : Common International Standard for Ecosystem Services

**EFESE** : Évaluation Française des Écosystèmes et Services Écosystémiques

**EMC** : Evaluation MultiCritère

**GIS GCHP2E** : Groupement d'Intérêt Scientifique « Grande Cultures à Hautes Performances Economiques et Environnementales »

**HVE** : Haute Valeur Environnementale

**IFT** : Indice de Fréquence de Traitement

**INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique

**MAES** : Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services

**MEA** : Millennium Ecosystem Assessment

**ONB** : Observatoire National de la Biodiversité

**R&D** : Recherche et Développement

**RS** : Richesse Spécifique

**SCV** : Semis sous Couvert Végétal

**SdC** : Système de Culture

**SE** : Service Écosystémique

**SIG** : Système d'Information Géographique

**TCS** : Techniques Culturelles Simplifiées



# Glossaire

**Biodiversité épigée :** Biodiversité évoluant en surface du sol ou d'un substrat naturel (Jacquot *et al.*, 2013), sous la strate herbacée.

**Evaluation multicritère :** « Une évaluation est qualifiée de multicritère lorsque qu'elle consiste à réaliser plus qu'une simple description à l'aide de plusieurs critères et donc à proposer une analyse et une interprétation de l'ensemble de ces derniers, ce qui peut impliquer des phases de pondération, de compensation et d'agrégation des différents critères » (Lairez *et. al*, 2015).

**Facteur abiotique :** Caractéristiques liées au milieu, indépendant des êtres vivants. Ils sont représentés par les phénomènes physico-chimiques (lumière, température, humidité de l'air, etc.).

**Gouvernance :** Mise en œuvre d'un ensemble de dispositifs pour assurer une meilleure coordination des parties prenantes d'une organisation, chacune détenant une parcelle du pouvoir, afin de prendre des décisions consensuelles et de lancer des actions concertées.

**Groupe fonctionnel :** Ensemble d'organismes partageant un trait fonctionnel commun.

**Groupe taxonomique :** Ensemble d'organismes partageant des traits communs et regroupés dans un taxon de la classification phylogénétique. Par exemple, les mammifères constituent un groupe taxonomique de vertébrés possédant des mamelles et allaitant leurs jeunes.

**Indicateur de cause :** Indicateur indirect basé sur une variable ou combinaison simple de variables causales.

**Indicateurs prédictifs :** Indicateurs indirects, basés sur des modèles permettant de réaliser des prédictions ou estimations, en intégrant les relations de cause à effet.

**Mésafaune du sol :** Organismes dont la taille est comprise entre 0,2 et 4 mm, soit les microarthropodes, notamment Acariens et Collemboles.

**Microfaune du sol :** Organismes dont la taille est inférieure à 0,2 mm, notamment Protozoaires et Nématodes.

**Modèle recherche :** Est le plus complexe du trio de méthodes (outil/modèle terrain/modèle recherche) défini dans cette étude. Permet l'évaluation ou la simulation de processus complexe ou peu maîtrisés ; ils sont principalement manipulés par des chercheurs. Ces éléments ne sont donc pas transférables en l'état aux professionnels : de plus amples références peuvent être nécessaires, certains résultats de ces modèles peuvent encore présenter des incohérences, ou leur manipulation peut nécessiter un certain niveau de compétences et connaissances.

**Modèle terrain :** Se situant entre les outils et les modèles recherche en termes de complexité, les « modèles terrain » permettent par rapport aux outils des évaluations de concept plus sophistiqué ou moins connus des professionnels. Une interface et des documents/dossiers permettant de se familiariser avec cette méthode en permet un certains transfert.

**Outil :** Permet de réaliser divers calculs ou évaluations en étant accessibles aux agriculteurs ou conseillers. Désigne une méthode transférée aux professionnels, communément utilisée par ces acteurs.



**Pratiques agricoles :** Désigne aussi bien la mise en œuvre et la gestion des systèmes de culture dans les parcelles que les modes de gestion des territoires agricoles (taille des parcelles, mode de gestion des bordures et habitats semi-naturels).

**Résilience :** Capacité d'un écosystème à se rétablir (récupérer un fonctionnement normal, retrouver un équilibre) après avoir subi une perturbation.

**Système de culture :** « Séquence pluriannuelle de cultures caractérisée par les espèces choisies et les techniques culturales mises en œuvre sur une parcelle ou groupe de parcelles traitées de manière homogène » (Sebillotte, 1990).





## Introduction

L'érosion de biodiversité du fait des activités humaines est un phénomène connu du monde scientifique et du grand public. L'ampleur de ce phénomène a connu un regain de médiatisation suite aux récentes études parues sur le sujet, portant notamment sur la disparition des oiseaux des paysages agricoles en France et sur celle des insectes volants en Allemagne de l'ouest (Hallmann *et al.*, 2017; Geffroy, 2018; Muséum national d'Histoire naturelle, 2018) En ce qui concerne la biodiversité des milieux agricoles, l'intensification des pratiques et la simplification des paysages est désignée comme principale responsable du déclin de l'abondance des organismes et de la diversité spécifique. Parmi les facteurs d'intensification, l'utilisation de produits phytosanitaires est considérée comme un facteur majeur de cette érosion (Le Roux *et al.*, 2008). Ces constats contribuent à accentuer une demande sociétale déjà forte pour contrer ces tendances et infléchir la situation.

En lien avec cette demande sociétale portant sur des systèmes agricoles conciliant la production des matières premières agricoles et la conservation des ressources, notamment la biodiversité, le Ministère en charge de l'agriculture a décidé de soutenir le développement de l'agro-écologie. Dans les éléments de définition qu'il donne de ce concept de production, la sauvegarde de la biodiversité et la valorisation des services écosystémiques qu'elle peut contribuer à fournir sont identifiées comme leviers afin de réduire l'utilisation d'intrants chimiques (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, s. d.).

Cependant, bien que certains systèmes cherchent déjà à s'appuyer sur ces services en limitant notamment l'effet des pratiques agricoles (principalement ceux des traitements phytosanitaires) sur les groupes non-cibles, ce changement de pratiques est majoritairement vu par la profession agricole comme une contrainte, car considéré comme un handicap pour la performance économique des exploitations agricoles (faute de références techniques disponibles). La préservation de la biodiversité et de ses services est donc une performance environnementale à considérer de manière conjointe à la performance économique : ce concept est appelé la « double performance » (Guillou *et al.*, 2013). Certains outils permettent déjà une évaluation des performances économiques, sociales ou environnementales des exploitations agricoles. Cependant la prise de conscience de l'importance de préserver la biodiversité est assez récente et n'a pas encore été intégrée à des outils opérationnels, utilisés par les conseillers ou les agriculteurs. Le développement d'outils permettant d'évaluer la biodiversité en parallèle d'indicateurs technico-économiques ainsi qu'agronomiques est donc nécessaire, le contexte actuel amenant à revoir les pratiques et modèles agricoles.

Le Groupement d'Intérêt Scientifique « Grande Culture à Haute Performance Economique et Environnementale » (GIS GC HP2E) s'est saisi de ces questions. Une des pistes choisies pour répondre à l'enjeu de l'évaluation conjointe de la biodiversité et des performances économiques des exploitations agricoles a été d'étudier la possibilité d'**intégrer des indicateurs évaluant l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques à l'outil d'évaluation multicritère inter instituts Systeme** ®. Cet outil présente l'avantage de réaliser de bonnes évaluations technico-économiques à diverses échelles et est bien diffusé et utilisé par des conseillers ou des agriculteurs. L'ajout d'indicateurs en lien avec la biodiversité et les services qu'elle fournit à cet outil pourrait permettre le transfert de l'évaluation de la « double performance » auprès des professionnels afin d'engager des changements de pratiques en faveur de la biodiversité.

Le présent mémoire détaillera les missions d'un stage réalisé afin de fournir une première étude sur la piste mentionnée. Tout d'abord, les éléments de contexte abordés dans cette introduction seront



détaillés. Ensuite un état de l'art sur les méthodes permettant l'évaluation *a priori* de l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques sera présenté. Cet état de l'art a permis de nourrir une réflexion quant aux indicateurs à calculer en situations réelles. Les éléments de méthodologie seront présentés en termes de choix des méthodes pour le calcul, de choix des systèmes à évaluer et de collecte des données. Enfin, les résultats des indicateurs seront présentés et discutés. Les pistes d'intégration des indicateurs jugés pertinents à l'outil Systerre ® seront abordées, l'objectif étant de déterminer une démarche reproductible à d'autres situations.



# 1. Contexte : durabilité, biodiversité et services écosystémiques en milieu agricole

L'objectif de cette partie est de faire le lien entre durabilité des productions agricoles et biodiversité, en tant que ressource à préserver mais aussi en tant que support de la durabilité, du fait des **Services Ecosystémiques (SE)** qu'elle contribue à fournir. Dans un premier temps, le concept de durabilité sera explicité. Le lien entre durabilité et productions agricoles sera présenté sous l'angle de la biodiversité agricole et des services qu'elle peut rendre. Nous verrons comment le constat de l'érosion de la biodiversité et la volonté d'en faire un support de la production amènent au besoin méthodes (pouvant être des outils<sup>1</sup>, des modèles terrain<sup>2</sup> ou des modèles recherche<sup>3</sup>) afin d'évaluer l'impact des **pratiques agricoles**<sup>4</sup> sur la biodiversité ou la capacité des exploitations agricoles à la préserver. Enfin, les particularités de l'évaluation de la biodiversité et des SE en milieu agricole seront précisées.

## 1.1 Le concept de durabilité

La notion de développement durable est apparue en 1987, énoncée dans le cadre de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, présidée à l'époque par Mme Brundtland. La définition proposée par cette commission fait toujours référence : « Le développement durable doit satisfaire les besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ». Cette définition a pu s'enrichir suite au troisième sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, la notion de durabilité ayant été déclinée sous trois piliers : les piliers économique, social et environnemental. La conférence de Johannesburg de 2002 y rajouta un quatrième pilier, la gouvernance<sup>5</sup>.

Les interprétations de cette notion sont nombreuses, deux grands courants de pensée s'opposant. Certains, partisans de la « durabilité faible », favorisent le pilier économique, jugeant que le capital naturel peut être remplacé par un autre type de capital, notamment technologique. Au contraire, la « durabilité forte » considère que le pilier environnemental est à privilégier, dans la mesure où la perte de ressources en biodiversité ou de fonctionnement des écosystèmes est irréversible et ne peut pas être compensée (Lairez *et al.*, 2015).

La biodiversité et les processus à l'œuvre dans les écosystèmes sont donc, au sens de la « durabilité forte », des éléments à préserver et conserver. Or, selon Steffen *et al.*, (2015), l'érosion de la biodiversité aurait déjà dépassé le seuil d'acceptabilité. Ainsi, les efforts de préservation et conservation de la biodiversité doivent concerner tous les domaines de l'activité humaine, dont l'agriculture.

## 1.2 La biodiversité en milieu agricole

Le terme biodiversité, néologisme inventé dans les années 1980 aux USA, a été popularisé pour la première fois au sommet de Rio de Janeiro en 1992, éveillant les consciences sur l'importance de sa

---

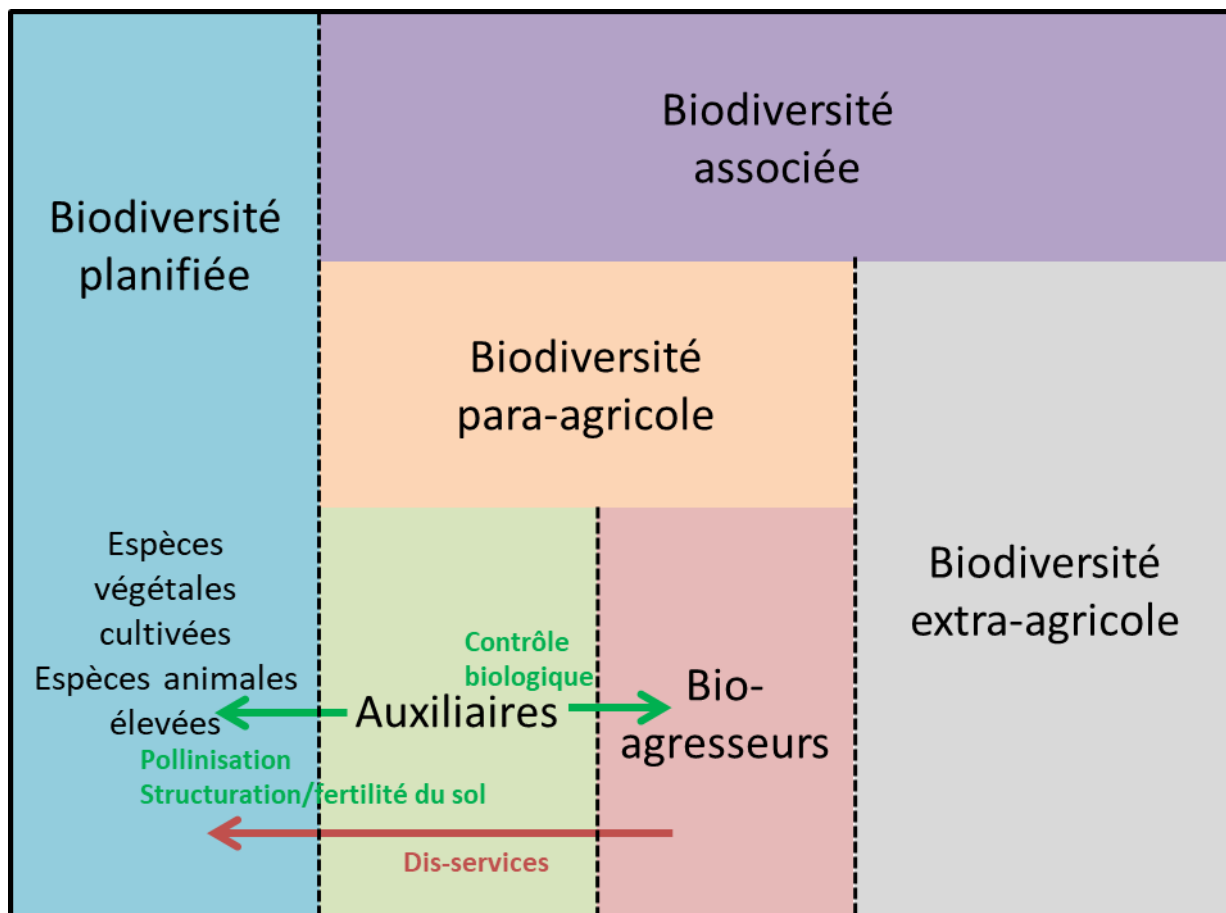
<sup>1</sup> Voir le glossaire.

<sup>2</sup> Voir le glossaire.

<sup>3</sup> Voir le glossaire.

<sup>4</sup> Voir le glossaire.

<sup>5</sup> Voir le glossaire.



→ **Service écosystémique :**  
 Processus écologique avantageux pour l'Homme

→ **Dis-service :**  
 Processus écologiques dommageable pour les activités humaines

Figure 1 : Synthèse schématique des différentes catégories de biodiversité, d'après Maljean et Peeters (2001)

conservation (Le Roux *et al.*, 2008). Ce concept s'est largement diffusé et est aujourd'hui bien connu de la société civile.

Le terme **biodiversité** est la contraction des mots biologie et diversité. Ce concept complexe peut avoir de nombreuses définitions en fonction de la manière et de l'échelle à laquelle il est envisagé. Telle que nous l'entendrons dans cette étude, la biodiversité fait référence à « l'ensemble des composantes et des variations du monde vivant ». Cela comprend, de l'échelle la plus large à la plus fine, la diversité : des écosystèmes (diversité écologique) ; des espèces (diversité spécifique) ; et enfin des gènes (diversité génétique) (ONU, 1992).

Dans le cadre particulier des productions agricoles, l'agriculteur aménage l'espace agricole, choisit, introduit et/ou maintient des cultures et des espèces animales, et met en place des pratiques agricoles. Les éléments naturellement présents rentrent donc en interaction avec les implémentations de l'agriculteur. Cela a amené les études portant sur la biodiversité dans les milieux agricoles à élaborer une autre typologie spécifique à ce milieu anthropisé, basée sur ces phénomènes de relations entre l'agriculteur, les productions agricoles et la biodiversité non introduite par l'Homme.

L'**agrobiodiversité** fait référence aux éléments constituant l'agroécosystème, de la diversité génétique à celle des espèces végétales jusqu'aux habitats et écosystèmes présents dans le milieu agricole. Les définitions suivantes se basent sur le rapport de Maljean et Peeters (2001) et les définitions de Peeters *et al.* telles que citées dans l'article de Clergue *et al.* (2005). Dans ce cadre de la biodiversité des écosystèmes agricoles, deux grandes catégories sont distinguées. La **biodiversité planifiée** est constituée, au niveau spécifique, des espèces cultivées (productives ou non, ce qui inclut les plantes de services par exemple) et élevées, des différentes variétés/races (diversité génétique au sein d'une espèce) et enfin des éléments semi-naturels implantés (bandes fleuries, haies, etc.). La **biodiversité associée** est constituée, au niveau spécifique, des espèces sauvages présentes spontanément dans les systèmes de production. Parmi cette biodiversité associée, deux sous-catégories sont distinguées. Celle interagissant avec les productions agricoles, qualifiée de **biodiversité para-agricole** et celle ayant peu voire pas d'impact sur les productions agricoles, qualifiée de **biodiversité extra-agricole**. La biodiversité para-agricole est composée de la biodiversité support des SE, soit les **auxiliaires**, et de la biodiversité dommageable aux cultures, regroupant donc les **bio-agresseurs**. Ici, le terme auxiliaire sera utilisé au sens large pour tout organisme fournissant un SE. Cela inclura notamment les pollinisateurs, les régulateurs de bio-agresseurs et des agents de structuration de sol ou de fertilité naturelle. La figure 1 ci-contre résume ces notions.

La biodiversité joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes, les espèces tissent des interactions complexes avec d'autres organismes ou des éléments abiotiques de leur environnement. Certaines de ces interactions peuvent être bénéfiques pour les activités humaines et sont donc qualifiées de SE<sup>6</sup>. La partie suivante définira et explicitera cette notion. Dans tous les cas, la volonté d'une transition vers une agriculture plus durable se doit d'intégrer les notions de protection et de conservation de la biodiversité.

### 1.3 Les services écosystémiques

Le fonctionnement des écosystèmes se base sur des interactions multiples, entre organismes et facteurs abiotiques<sup>7</sup> constitutifs de cet écosystème. Certaines de ces interactions peuvent être favorables aux sociétés humaines et sont donc appelées « Services Ecosystémiques ».

---

<sup>6</sup> Des éléments de l'écosystème peuvent être des supports de services écosystémiques, sans qu'une interaction soit forcément nécessaire.

<sup>7</sup> Voir le glossaire.

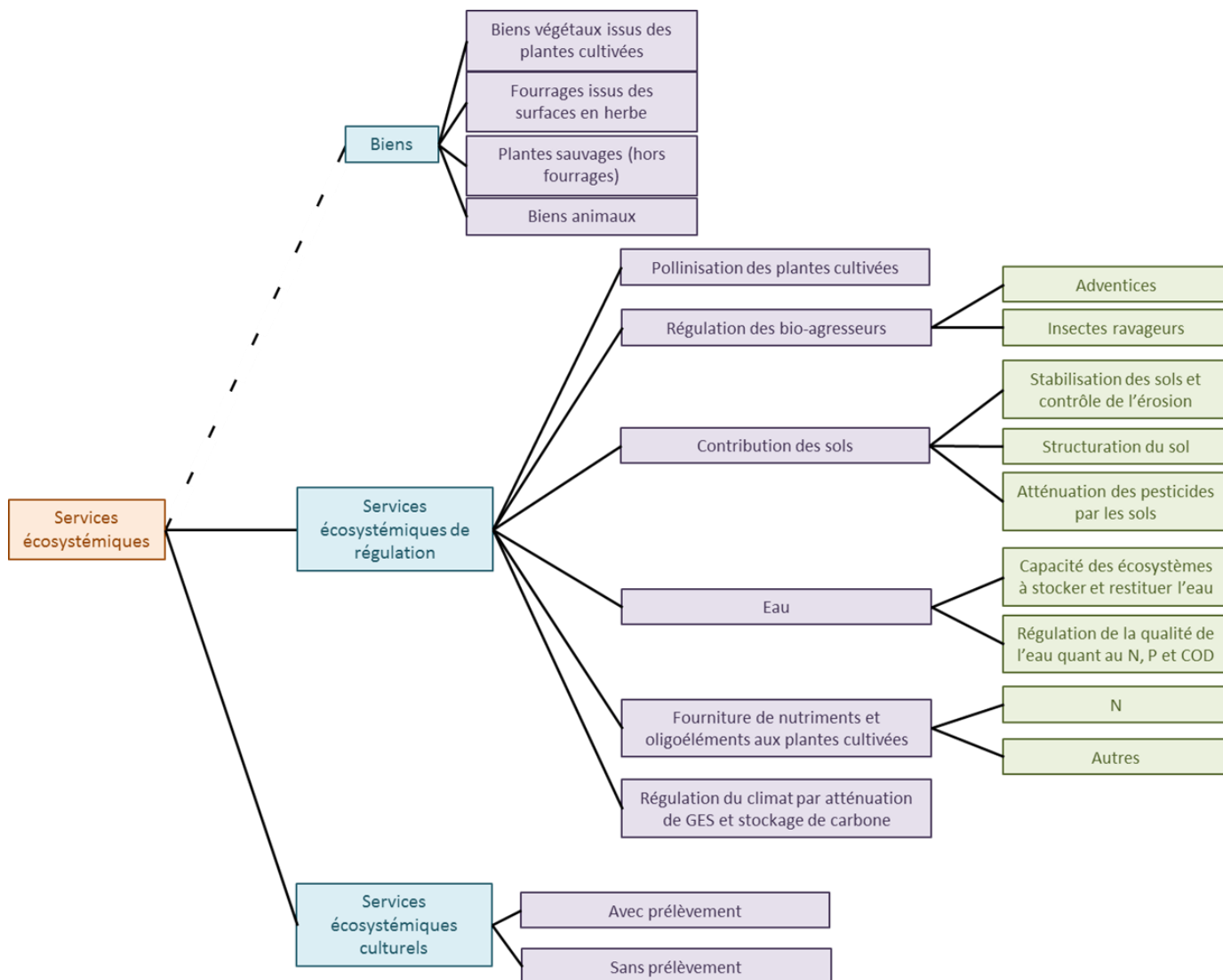


Figure 2 : Typologie et nature des services écosystémiques en milieu agricole, d'après Therond *et al.* (2017)



Une première définition très générale issue de premiers travaux présente les SE comme des avantages que la société obtient de la biodiversité et des écosystèmes. En reprenant la typologie des travaux du Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), il est possible de définir quatre types de SE :

- Les **services d’approvisionnement** (apport en matière première, en eau douce et en ressource médicinale) ;
- Les **services de soutien**, (fourniture d’habitats pour les espèces, maintien de la diversité génétique) ;
- Les **services de régulation** (qualité de l’eau, de l’air, régulation des phénomènes climatiques ou encore pollinisation des cultures et la lutte biologique) ;
- Enfin, les **services culturels** (tourisme, loisirs, expérience spirituelle, inspirations esthétiques ou encore potentiel récréatif).

L’étude sur les écosystèmes agricoles de l’Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) dans le cadre du programme « Évaluation Française des Écosystèmes et Services Écosystémiques » (EFESE) a donné une définition plus précise en s’appuyant sur les travaux du Common International Standard for Ecosystem Services (CICES) : « Les services écosystémiques sont des processus écologiques ou des éléments de la structure de l’écosystème dont l’Homme dérive des avantages, activement en mobilisant du capital matériel (énergie, eau, produits phytosanitaires...) et/ou cognitif (connaissances, par ex. pratiques agricoles) ou passivement. » (Therond et Tichit, 2017). La biodiversité est un facteur important des SE mais n’est pas le seul, de nombreux processus abiotiques intervenant aussi au sein des écosystèmes. C’est cette définition que nous retiendrons.

Le rapport scientifique de la contribution au programme EFESE de l’INRA concernant les écosystèmes agricoles<sup>8</sup> propose une typologie différente du MEA. En effet, une première typologie retenait les services d’approvisionnement, de régulation et culturels. La production agricole a été par la suite conceptualisée comme « bien agricole », étant plutôt un produit tiré de l’interaction entre processus écologiques et intrants anthropiques. La figure 2 ci-contre présente une liste des SE ayant pu être étudiés dans le cadre de ce programme (Therond *et al.*, 2017).

La biodiversité en milieu agricole est aujourd’hui considérée comme une ressource à préserver pour des enjeux de conservation mais aussi pour son aspect utilitaire au travers des SE. Ces éléments seront précisés dans les prochaines parties.

## 1.4 La remise en cause de l’intensification de l’agriculture et l’érosion de la biodiversité

L’intensification de l’agriculture, qui a débuté après la seconde guerre mondiale, trouve ses fondements dans la nécessité d’augmenter la capacité de production de l’agriculture française afin de subvenir aux besoins de l’après-guerre. Cette intensification a été possible notamment à l’aide de l’accroissement en taille des parcelles en lien avec la mécanisation, et de la chimie afin de produire des fertilisants et des moyens de luttés contre les bio-agresseurs. Ce changement du modèle agricole a atteint les objectifs fixés et a permis à la France de devenir une puissance exportatrice de biens agricoles. Le contexte actuel est marqué par de fortes pressions quant à la capacité de production de l’agriculture, le marché de produits agricoles étant de plus en plus mondialisé et concurrentiel, et

---

<sup>8</sup> Pour la suite du rapport, la mention du programme EFESE fera plus précisément référence à l’étude liée aux écosystèmes des milieux agricoles, confiée à l’INRA.



l'augmentation de la population mondiale exigeant de l'agriculture d'être capable de répondre à cette demande (Flamant, 2010).

Il existe cependant une remise en cause de ce mode de production, de par les impacts négatifs qu'il peut avoir sur les volets économiques, environnementaux, et sociaux. Les problèmes économiques sont liés à l'endettement des agriculteurs, la volatilité des prix des produits agricoles, etc. Les problèmes sociaux sont principalement liés à l'isolement des agriculteurs. Les problèmes environnementaux engendrés sont par exemple la dégradation de la qualité de l'air et de l'eau, l'émission de gaz à effet de serre, ou encore la diminution de la biodiversité dans les milieux agricoles. L'érosion de la biodiversité est un constat qui a été démontré de manière scientifique et qui a pu interpeller la société et les décideurs politiques. Cette problématique trouve ses fondements dans la destruction et la fragmentation des habitats, la propagation d'espèces exotiques invasives, les pollutions issues des activités agricoles, le captage et l'utilisation d'eau, et l'accroissement des impacts du changement climatique (European Environment Agency, 2010). En ce qui concerne les pratiques agricoles : par exemple le labour, mené de manière répétée et en profondeur a des effets négatifs sur la richesse et l'abondance des vers de terre, et peut atteindre la mésofaune<sup>9</sup> et microfaune<sup>10</sup> du sol en perturbant les conditions trophiques du milieu. Les produits phytosanitaires de synthèse sont notamment considérés comme responsables de la majorité des dégâts causés par l'agriculture intensive à la biodiversité, pour ses atteintes aux organismes non-cibles (Le Roux *et al.*, 2008).

Ces produits, du fait de leurs impacts négatifs sur la biodiversité et de leurs effets potentiels sur la santé humaine, sont fortement critiqués par la société en attente d'une évolution vers des pratiques plus respectueuses de la nature et de l'Homme. En lien avec la demande sociétale, l'Etat français a pour volonté d'accompagner la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, notamment avec les plans Ecophyto successifs (MAAF et MEDDE, 2015). Il est donc nécessaire de trouver des solutions alternatives pour la protection des cultures, afin de garantir le niveau de production agricole. A ce titre les SE, notamment de régulation, constituent une piste de recherche.

### **1.5 Des enjeux de la sauvegarde de la biodiversité aux besoins d'évaluation**

L'enjeu est donc de préserver la biodiversité et d'infléchir les phénomènes observés actuellement, afin de préserver la biodiversité en tant que telle mais aussi pour valoriser les SE fournis à la société.

Dans le cas particulier des productions agricoles, ces SE peuvent être valorisés dans des modes de production visant la réduction de l'utilisation d'intrants, tels que la protection intégrée des cultures. Ils peuvent aussi être à la base de modèles comme l'agro-écologie, où ils ont pour vocation de remplacer les intrants chimiques, en valorisant par exemple la régulation naturelle. De plus, la demande sociétale amène à une réflexion globale sur l'ensemble des modèles de production, et à une réduction globale de l'impact de l'agriculture sur l'environnement.

Cependant, les méthodes d'évaluation ou de classification des SE sont récentes et sont développées à des niveaux nationaux voire internationaux : les rapports synthétisant les travaux du MEA parus en 2005 ont fortement contribué à faire émerger la notion et l'importance des SE dans le monde scientifique international. Depuis, le CICES a vu le jour en 2009, le programme EFESI a été initié en 2011 et le MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) en 2013 (Therond *et al.*, 2017). Les résultats issus de ces initiatives sont peu accessibles par les praticiens, ce qui peut limiter leur engagement dans la préservation de la biodiversité. Il est pourtant nécessaire

---

<sup>9</sup> Voir le glossaire.

<sup>10</sup> Voir le glossaire.

## Etat des lieux initial

### Diagnostic

Erosion de la biodiversité dans les milieux agricoles  
Baisse d'efficacité et contestation des méthodes de lutte chimique

### Contexte

- **Enjeux**

Préserver la biodiversité et les écosystèmes  
Valoriser les services écosystémiques

- **Déterminants du problème**

Pratiques agricoles intensives délétères pour la biodiversité  
Dégradation des habitats potentiels et des milieux

- **Contraintes**

Valorisation de la biodiversité dans des systèmes devant rester productifs  
Faisabilité de la quantification des services écosystémiques

- **Individus et structures concernés**

Agriculteurs  
Structure de conseils, coopérative  
Structures de R&D

### Solutions alternatives

Protection intégrée  
Agro-écologie

### Besoin d'évaluation

Réaliser des diagnostics pour évaluer le potentiel d'accueil de certains systèmes et le niveau de  
SE lié à ces systèmes  
Identifier des voies d'améliorations  
Valoriser les « bonnes pratiques » de certaines exploitations

Figure 3 : Etat des lieux initial

d'identifier des voies d'amélioration lors d'évolutions ou de changements de pratiques ainsi que de valoriser des engagements favorables à la sauvegarde de la biodiversité. Une évaluation, même qualitative, de l'effet de ces évolutions ou changements de pratiques est nécessaire afin de faciliter l'engagement.

**Ainsi, le développement d'outils permettant de rendre compte de démarches favorables à la préservation de la biodiversité ou permettant d'estimer les SE pouvant être utiles aux productions agricoles sont nécessaires.** Un travail de transfert est à réaliser, pour que les agriculteurs puissent réaliser la transition de leur stratégie de conduite. Toutefois, il est nécessaire de garder à l'esprit que les performances environnementales, économiques et sociales des systèmes de production sont à considérer conjointement. La biodiversité est une composante des performances environnementales qu'il est nécessaire d'intégrer de manière plus précise aux évaluations. La figure 3 reprend et synthétise les éléments présents dans les deux dernières parties.

Les enjeux autour de la sauvegarde de la biodiversité et de la valorisation des SE ayant souligné le besoin de méthodes pour évaluer les effets des pratiques agricoles sur la biodiversité, nous allons maintenant définir ce qu'est une **Evaluation Multicritère (EMC)**<sup>11</sup> et détailler quelles sont les particularités de l'évaluation de la biodiversité en milieu agricole.

## 1.6 L'évaluation multicritère, concepts et définitions

La réflexion sur la méthodologie liée à l'EMC et sur les définitions et concepts manipulés dans la suite de cette synthèse sont essentiellement basés sur le livre intitulé : « Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère » (Lairez *et al.*, 2015). L'enjeu de l'évaluation d'éléments comme la durabilité de l'agriculture implique de considérer des domaines variés (piliers économique, environnemental et social), des processus complexes ou enfin différentes échelles de temps et d'espace. Ainsi, l'évaluation doit se faire au-delà d'un seul critère ou performance.

Telle qu'elle est définie par Lairez *et. al.*, 2015 « une **évaluation** est qualifiée de **multicritère** lorsque qu'elle consiste à réaliser plus qu'une simple description à l'aide de plusieurs critères et donc à proposer une analyse et une interprétation de l'ensemble de ces derniers, ce qui peut impliquer des phases de pondération, de compensation et d'agrégation des différents critères. ». Cela permet de faire une synthèse en prenant en compte différents enjeux *a priori* peu connectés entre eux ou encore de prendre en compte des phénomènes de compensation et d'interaction.

En reprenant les notions de ce livre, les **critères** sont des variables qui décomposent les dimensions du concept évalué. Afin de permettre leur interprétation ils sont associés à des valeurs et sont mis en perspective d'objectifs de minimisation, de maximisation ou d'optimisation.

Les EMC sont des supports intéressants pour prendre en compte différentes dimensions et faire du lien entre des éléments dont la connexion n'est pas évidente. Les indicateurs supportant ces évaluations permettent de synthétiser des informations complexes et d'évaluer les dimensions d'intérêts à partir de nombreuses données brutes. La biodiversité est cependant liée à des processus complexes, comparés à d'autres phénomènes ou concepts plus évident à modéliser. La partie suivante explicitera les spécificités de l'évaluation de la biodiversité en milieu agricole.

---

<sup>11</sup> Voir le glossaire.



## 1.7 Les particularités de l'évaluation de la biodiversité et des services écosystémiques en milieu agricole

Le besoin d'évaluation des effets des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE nécessite l'appropriation des méthodes d'évaluation pour les transposer au contexte de la biodiversité des milieux agricoles. Cette partie précisera les définitions abordées précédemment en les explicitant dans le contexte de la présente synthèse ainsi que son cadre.

Le critère de biodiversité peut être décomposé pour renseigner l'effet des pratiques sur différentes formes de biodiversité (faune, flore, etc.), puis éventuellement sur différents groupes, par exemple taxonomiques, ou encore sur différents SE.

En reprenant la typologie de Bockstaller *et al.* (2008, 2011) et de Lairez *et al.* (2015), il est possible de distinguer différents types d'indicateurs renseignant l'effet des pratiques culturales sur la biodiversité, comme pour d'autres critères. Tout d'abord, deux grandes catégories sont à distinguer :

- Les **indicateurs de cause**<sup>12</sup> : ces indicateurs sont indirects, et font appel à une variable ou une combinaison simple de variables causales utilisant généralement de l'information sur les pratiques agricoles. Elles portent principalement sur le choix des cultures, la gestion du cycle de cultures, ainsi que l'entretien du paysage agricole. Ce sont les indicateurs les plus faciles à renseigner de par leur simplicité, mais ont une puissance explicative faible. En effet, ils intègrent peu de processus et ne permettent donc pas d'établir un lien entre une pratique ou un ensemble de pratiques et un niveau de biodiversité par exemple.
- Les **indicateurs d'effet** : Ils décrivent l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE. Les indicateurs d'effet peuvent être soit des indicateurs mesurés/observés, ou encore des indicateurs basés sur des modèles prédictifs.
  - Les **indicateurs mesurés ou observés** : ce sont des indicateurs directs, basés sur la mesure ou l'observation sur le terrain de l'abondance de certains taxons, le calcul de **Richesse Spécifique (RS)** ou d'indices divers, ou encore de la présence d'espèces clefs. Bien qu'ils permettent de rendre compte au plus près des effets des pratiques sur la biodiversité et les SE, ils présentent deux inconvénients. Tout d'abord, ils requièrent un investissement important en temps et moyens ainsi que des compétences en taxonomie, ce qui limite la faisabilité de tels indicateurs. De plus, il n'est pas forcément possible de remonter aux causes de la situation étudiée, et ainsi de déterminer les relations de cause à effet.
  - Les **indicateurs prédictifs**<sup>13</sup> **basés sur des modèles** : ce sont des indicateurs indirects, qui peuvent être basés soit sur des modèles opérationnels ou des fonctions estimatrices, soit sur des modèles plus complexes. Ils aboutissent généralement à des probabilités de présence, des scores d'impact ou de risques, etc. Plus le modèle est complexe, plus les données à rentrer sont nombreuses et/ou complexes. Bien que cela augmente la puissance explicative du modèle, de par l'intégration d'un plus grand nombre d'effets ou de processus plus sophistiqués, cela en réduit la faisabilité. L'atout de ces indicateurs est leur capacité à réaliser des prédictions et/ou des simulations.

De par leur nombre et leurs différents modèles ou logiques de calcul, une typologie spécifique a été détaillée pour distinguer les différents indicateurs prédictifs basés sur des modèles simples :

---

<sup>12</sup> Voir le glossaire.

<sup>13</sup> Voir le glossaire.

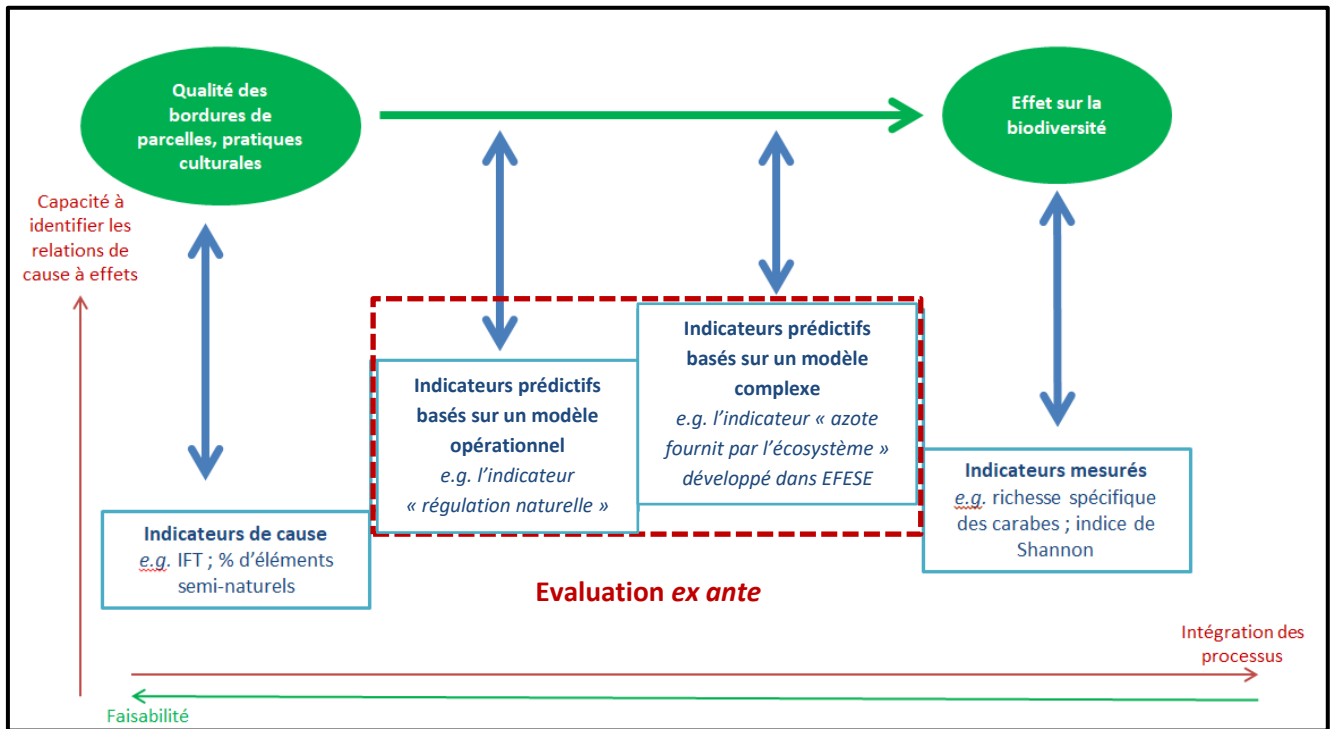


Figure 4 : Faisabilité et puissance explicative des différents types d'indicateurs, d'après Bockstaller *et al.* (2011)



- Certains indicateurs sont élaborés via une **logique booléenne**, se basant sur des variables qualitatives s'excluant mutuellement comme vrai/faux, 0/1, faible/moyen/fort, etc. Cette logique permet de constituer des « arbres de décision » à la manière des méthodes ou modèles DEXi (Vélu *et al.*, 2015; Pelzer *et al.*, 2012) ;
- D'autres méthodes se basent sur la **logique floue** (ou fuzzy logic), qui constitue une alternative à la logique booléenne. Elle permet d'introduire un continuum de valeurs ce qui concrètement permet de traiter des cas où des indicateurs prendraient des valeurs intermédiaires et limiter les effets de seuil (Lairez *et al.*, 2015) ;
- Certaines méthodes délivrent des notes via des **équations simples** ou par manipulation de coefficient reflétant l'impact des pratiques ou la qualité du milieu, et présentent donc une information peu agrégée et/ou synthétique (Jeanneret *et al.*, 2014). ;
- Des **analyses statistiques** de jeux de données peuvent permettre de faire un lien entre différents paramètres et une variable. Des variables peuvent être utilisées comme indicateurs et pourront être calculées par la suite grâce à un modèle statistique et aux paramètres d'entrées définis dans l'étude source (Therond *et al.*, 2017) ;
- Dans le cadre spécifique des SE et de la biodiversité, certaines méthodes se basent sur l'**occupation du sol** pour évaluer l'adéquation avec les besoins de différentes espèces ou des potentiels d'accueil (Clearwater *et al.*, 2016 ; CORINE land cover, s. d.) ;
- Enfin, des méthodes essaient de prendre en compte de manière plus **précise les processus en lien avec la biodiversité et les SE**, en allant plus loin que la simple couverture du sol, ce qui les oppose à la catégorie précédente (Therond *et al.*, 2017).

Un lien entre sorties d'indicateurs prédictifs et indicateurs de cause peut être réalisé, dans la mesure où un indicateur de cause est une variable causale entrant dans le calcul d'un indicateur prédictif. Dans tous les cas, les évaluations réalisées peuvent être regroupées sous deux grandes catégories. L'évaluation *ex ante* ou évaluation *a priori* est une évaluation se réalisant avant la mise en place d'un programme, d'un système, etc. pour essayer d'estimer ses performances avant son implémentation. Ces évaluations sont des prédictions des résultats futurs de l'élément considéré. Au contraire, les évaluations *ex post* ou *a posteriori* sont utilisées pour quantifier les effets qu'a pu avoir l'élément évalué, notamment dans notre cas en terme de biodiversité globale ou de services effectifs. **Ainsi, l'évaluation *ex ante* se basera sur des indicateurs prédictifs, tandis que l'évaluation *ex post* sera réalisée à l'aide d'indicateurs calculés ou mesurés.**

La figure 4 synthétise la typologie des indicateurs et décrit leur faisabilité et puissance explicative.

Tous les éléments de contextes étant décrits et les concepts détaillés, la partie suivante présentera l'état de l'art quant aux méthodes permettant l'évaluation des effets des pratiques agricoles sur la biodiversité et des SE.

## **2. Etat de l'art : Méthodes et indicateurs estimant a priori l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques.**

Premièrement, le cadre de cet état de l'art sera précisé afin d'exposer les choix qui ont guidés la recherche de méthodes et indicateurs estimant *a priori* l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE. Les méthodes recensées seront présentées, afin de fournir la base de réflexion ayant permis leur sélection en vue d'un calcul.



## 2.1 Cadrage de l'état de l'art

L'état de l'art se restreindra au recensement d'indicateurs prédictifs utilisés pour décrire *a priori* l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE fournis par la biodiversité cible. L'effort de recensement a pour but d'étudier des indicateurs pouvant être intégrés à Systerre®, d'où le choix de se concentrer sur l'évaluation *ex ante*. Les indicateurs mesurés seront donc exclus. En effet, comme cela a été précisé avant, ces indicateurs ont des prérequis importants en termes de moyens et de connaissances. Le projet Biobio<sup>14</sup> estime le temps et les moyens à consacrer à la mesure des indicateurs proposés dans le cadre du projet : 12 à 70 heures et jusqu'à 900 € par ferme pour les vers de terre, 7 jours de temps plein pour les araignées, 4,5 jours de temps plein pour les abeilles sauvages et bourdons avec nécessité de disséquer les appareils génitaux pour identifier les bourdons mâles et enfin 3 heures par zone d'échantillonnage pour les plantes vasculaires (Lauber, s. d.). De plus, bien qu'ils permettent de rendre compte des processus globaux ayant eu lieu, ils n'ont qu'une faible capacité à identifier les relations de cause à effet.

Les indicateurs de cause ne seront normalement pas pris en compte, sauf s'ils ont été évalués comme pertinents et/ou corrélés à des niveaux de biodiversité ou de présence d'espèces d'intérêt (travaux notamment réalisés par Billeter *et al.*, 2007). Cela exclut par exemple la dizaine d'indicateurs de cause mobilisés dans le diagnostic agro-écologique proposé par le ministère en charge de l'agriculture<sup>15</sup>. Ceux-ci sont assez simples, ce sont par exemple le pourcentage d'habitats semi-naturels ou de surface non traitée en insecticides, la taille moyenne des parcelles ou encore le nombre de variétés moyen cultivé par culture (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, s. d.). Au contraire de l'outil Sustainable Performance Assessment (SPA) présentée dans la suite de ce document, les indicateurs fournis dans le cadre du diagnostic ne sont pas agrégés ce qui ne permet pas de synthétiser l'information en un score final (Kuneman et Fellus, 2014), et aucun travail de corrélation avec des groupes taxonomiques ou fonctionnels n'a été réalisé. Ainsi, des indicateurs issus de cette source ne seront pas retenus pour la présente étude à moins d'apparaître dans une autre méthode jugée plus pertinente.

De même, les indicateurs concernant la biodiversité utilisés par l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) ou le projet Biobio sont, soit des indicateurs mesurés pour évaluer la RS ou l'abondance de certains taxons, soit des indicateurs de cause, soit des indicateurs concernant les habitats potentiels ou la biodiversité domestique. Ils ne seront donc pas considérés dans cette étude (Agence française pour la biodiversité, s. d. ; Lauber, s. d.).

**Nous nous concentrerons uniquement sur la biodiversité associée avec un focus sur la biodiversité auxiliaire.** En effet, c'est un sujet d'étude prioritaire pour Arvalis Institut du végétal, car répondant à la demande de la profession agricole. Des indicateurs renseignant la biodiversité extra-agricole ne sont pas la priorité de cette étude mais pourront être abordés au cas par cas s'ils révèlent une pertinence par rapport à la problématique de l'étude. Le cadre d'utilisation est celui des **grandes cultures**, cependant si certaines méthodes évaluant d'autres modes de production sont jugées pertinentes elles pourront être intégrées à l'inventaire. En ce qui concerne les SE à recenser, le focus est porté sur les services rendus par la **biodiversité « auxiliaire »**. En effet, ce sont les principaux SE qui bénéficient aux productions agricoles. Sont donc retenus pour cette synthèse : la pollinisation des cultures, la régulation des bio-agresseurs (ravageurs et adventices), et enfin la fourniture de nutriments aux plantes cultivées (notamment l'azote minéral).

Le travail de définition des concepts ayant été abordé, et le cadre défini, la partie suivante présentera l'état des lieux de la prise en compte de la biodiversité dans les méthodes EMC existants.

---

<sup>14</sup> Le site du projet BioBio : <http://www.biobio-indicator.org/project.php?l=3>. Consulté le 14/09/2018.

<sup>15</sup> Le site du diagnostic agroécologique : <http://www.diagagroeco.org/>. Consulté le 16/09/18



## 2.2 Description des méthodes

### a) Indicateurs de cause

- Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study (Billeter *et al.*, 2007)

L'objectif de cette étude est de vérifier la corrélation entre des variables pouvant être considérées comme des indicateurs de cause et la RS et abondance de différents groupes taxonomiques observés sur le terrain. Cette étude pourrait être considérée comme ne rentrant pas dans le cadre de cette synthèse, les indicateurs de cause ayant une puissance explicative assez faible pour permettre une évaluation *a priori*. Cependant, la mise en évidence de corrélations renforce la pertinence de ces indicateurs, d'où le choix de les intégrer à la synthèse.

- Sustainable Performance Assessment : SPA (Kuneman et Fellus, 2014)

La performance de durabilité des exploitations détaillée dans cet outil se base sur de nombreux critères : changement climatique et énergie, pesticides, qualité du sol, quantité d'eau, fertilisants, biodiversité, bien-être animal, gestion des terres agricoles, santé et sécurité des opérateurs, stabilité financière. L'indicateur « score de biodiversité », renseignant le critère biodiversité, est obtenu grâce à un questionnaire à choix simple ou multiple. Il est exprimé sous la forme d'un score allant de 1 à 100.

### b) Indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple

De nombreux indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple ont été recensés dans cette étude, d'où la typologie spécifique développée dans la partie portant sur les spécificités de l'évaluation de la biodiversité et des SE. Ainsi, ces différents types d'indicateurs seront détaillés dans l'ordre avec lequel ils ont été présentés dans la partie mentionnée, soit selon l'approche d'obtention de la plus simple à la plus élaborée.

#### i. Approches qualitatives basées sur arbres de décision (DEXi)

- MASC 2.0 (Sadok *et al.*, 2008 ; Craheix *et al.*, 2012), DEXiPM V1 (Pelzer *et al.*, 2012), DEXiPM V2 (Demade, 2014)

**Ces trois méthodes DEXi ont été regroupées car elles ont été conçues dans une suite logique, développées les unes après les autres.**

La plus ancienne est MASC 2.0. Elle a pour objectif d'évaluer la contribution de **Systèmes de Culture**<sup>16</sup> (SdC) au développement durable en réalisant des évaluations *a priori*. Elle peut servir comme aide à la réflexion d'agriculteurs pour des changements de pratiques ou à la conception de nouveaux systèmes, à la sensibilisation d'étudiants dans le cadre de formation sur l'évaluation des SdC et le développement durable, ou enfin à la communication auprès d'agriculteurs ou d'autres publics. Un critère « Conservation de la biodiversité » participe à l'évaluation de la dimension environnementale de la durabilité. Cette modèle terrain propose quelques indicateurs de biodiversité tout en ayant la volonté de rester accessible et transférable ; elle a notamment pu être manipulée par des techniciens.

Cependant, la méthode MASC 2.0 a présenté un besoin d'amélioration au niveau de sa branche « Conservation de la biodiversité ». Cette branche a donc été retravaillée avec des spécialistes au sein du modèle recherche DEXiPM (Pelzer *et al.*, 2012). Ce modèle permet elle aussi l'évaluation *ex ante* de SdC innovants portés sur la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires. L'EMC définit la durabilité globale des SdC en se basant sur la durabilité économique, sociale et

---

<sup>16</sup> Voir le glossaire.



environnementale. La durabilité environnementale présente notamment un indicateur « biodiversité aérienne et épigée<sup>17</sup> », présentant plus de finesse et de robustesse que la méthode MASC 2.0, fruit du travail réalisé pour son amélioration. Cette version sera considérée comme la « première version » du modèle DEXiPM et pourra être nommée DEXiPM V1 dans ce mémoire.

Une deuxième version de DEXiPM, plus récente (qui sera nommée DEXiPM V2 pour la suite de ce rapport), a été élaboré afin notamment d'améliorer la branche biodiversité de le modèle initial (Demade, 2014). Dans cette version, le modèle décrit un critère « organismes vivants » à l'aide d'un indicateur « conservation de la biodiversité » et un indicateur « régulation naturelle ». Ainsi, le modèle propose un indicateur de biodiversité et de SE. Certains indicateurs ont notamment pu être étoffés : là où la première version de DEXiPM présentait seulement un indicateur « Ennemis naturels du sol » pour la faune non aérienne, la deuxième version y a ajouté l'indicateur « Ennemis naturels rampants ».

- **DEXiFruits (Vélu *et al.*, 2015)**

DEXiFruits est un modèle recherche conçue pour l'évaluation *ex ante* de la durabilité des systèmes de production en arboriculture. Elle découle d'une adaptation de DEXiPM aux cultures pérennes. Elle repose aussi sur les trois piliers de la durabilité (durabilité économique, environnementale et sociale) et la durabilité environnementale présente notamment un indicateur « Biodiversité ».

- **IBEA (France nature environnement, 2013)**

Le modèle terrain IBEA a pour objectif de renforcer la prise en compte de la biodiversité dans le développement des activités agricoles, de promouvoir des pratiques culturelles vertueuses en matière de préservation de la biodiversité ou enfin offrir un support de discussion. Cette méthode est elle aussi construit avec DEXi. Cette méthode propose un indicateur « impact sur la biodiversité sauvage » calculé à l'échelle de l'exploitation agricole.

- **Arbres multicritères Auximore : DEXi-Syrphes, DEXi-Coccinelles, DEXi-Chrysopes, DEXi-ParasitoïdesDePucerons (Chabert, 2015)**

Ces modèles recherche ont pour objectif d'évaluer *a priori* le potentiel d'accueil de parcelle pour quatre groupes d'ennemis naturels des pucerons : les Syrphes, les Coccinelles, les Chrysopes, et les Micro-Hyménoptères Parasitoïdes de pucerons. Les Syrphes et Coccinelles considérés sont donc les espèces de ces groupes ayant au moins un stade aphidiphage. Ces modèles ont été élaborés pour l'aide à la conception de nouveaux SdC et pour réaliser des diagnostics de systèmes existant.

- **DEXiAbeilles (Decourtye *et al.*, 2014)**

L'objectif du modèle recherche DEXi-Abeilles est d'évaluer des SdC sur la base de leur intérêt économique pour l'agriculteur et l'apiculteur, leur acceptabilité sociale et leur intérêt environnemental. La dimension environnementale comprend notamment les indicateurs « abeilles sauvages » et « bourdons ».

- ii. **Approches continues avec arbre de décision (logique floue) : MODAM (Sattler *et al.*, 2010)**

Le modèle recherche MODAM (Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management) est un modèle permettant de modéliser des performances environnementales et économiques d'un SdC. En ce qui concerne la performance environnementale, cinq indicateurs sont utilisés pour évaluer l'effet des pratiques agricoles sur l'habitat de différentes espèces. La méthode de calcul se base sur une logique floue ce qui permet d'exprimer les indicateurs via des scores continus allant de 0 à 1.

---

<sup>17</sup> Voir le glossaire.





### iii. Approches quantitatives utilisant l'occupation du sol

- **EnRisk project (Delbaere et Nieto Serradilla, 2004)**

Le but du projet EnRisk est de fournir un support scientifique aux réglementations environnementales nationales et européennes. En ce qui concerne la biodiversité, un indicateur « score de menace » a été sélectionné pour évaluer le risque lié aux pratiques agricoles sur un groupe fonctionnel<sup>18</sup> d'oiseaux (les oiseaux nicheurs). Le croisement des jeux de données existant renseignant la diversité des couvertures du sol (Corine Land Cover) et les listes d'espèces d'oiseaux publié par « BirdLife International » permet d'estimer un potentiel de richesse d'oiseaux nicheurs. La confrontation de ce potentiel aux pressions exercées par l'agriculture donne le score de menace.

- **Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Agri-Environmental Indicator Report Series (Chunn *et al.*, 2005 ; Clearwater *et al.*, 2016)**

L'objectif de ce rapport et des indicateurs présentés dans celui-ci est d'évaluer la durabilité environnementale de l'agriculture canadienne. Dans une version antérieure (Chunn *et al.*, 2005), un critère biodiversité existait, en partie décrit par les indicateurs suivants : « indicateur de la biodiversité du sol » et « habitat semi-naturels présent sur l'exploitation agricole ». Dans la version la plus récente (Clearwater *et al.*, 2016), seul l'indicateur « habitat semi-naturels présent sur l'exploitation agricole » est resté. Cet indicateur prédictif, basé sur un modèle simple, aboutit à une classe renseignant la capacité de l'agriculture canadienne à fournir des habitats remplissant les besoins et exigences des vertébrés terrestres.

### iv. Méthodes basées sur des notes : SALCA (Jeanneret *et al.*, 2014)

Cette méthode fonctionne avec des indicateurs liés à la RS ou aux exigences écologiques de différents taxons. Un score est attribué par groupe taxonomique<sup>19</sup> en multipliant : un score représentant l'impact des pratiques et la moyenne de deux coefficients, un premier permettant de pondérer la note attribuée au mode de gestion en rapport avec le groupe taxonomique considéré, et un second permettant de quantifier l'importance pour chaque groupe taxonomique des pratiques ayant lieu dans les cultures ou les habitats semi-naturels.

### v. Méthodes basées sur un modèle statistique

- **Icarab (Lasserre-Joulin *et al.*, 2015)**

L'outil Icarab a été développé dans le cadre du CASDAR « Auximore » grâce à l'analyse des données récoltées. Son objectif est d'évaluer l'impact des pratiques agricoles et du paysage au sens large sur les populations de carabes, en termes d'abondance et de diversité. Les indicateurs sont liés à des catégories de taille de carabes, car celle-ci est corrélée avec le potentiel auxiliaire de ce groupe.

- **Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques : EFESE (Therond *et al.*, 2017)**

Ce programme a été initié en 2012 afin d'évaluer notamment les SE dans le contexte du territoire français. Les travaux se basent sur des outils comme le CICES<sup>20</sup> mais sont adaptés et explicités dans le cadre restreint du pays. Un des buts du programme EFESE est notamment de construire des modèles permettant d'évaluer les SE rendus par différents écosystèmes et catégories de biodiversité.

La partie traitant des écosystèmes agricoles de l'étude propose deux indicateurs obtenus à l'aide d'une analyse statistique. Pour la régulation des graines d'adventices, un indicateur d'abondance

---

<sup>18</sup> Voir le glossaire.

<sup>19</sup> Voir le glossaire.

<sup>20</sup> Site officiel du CICES : <https://cices.eu/>. Consulté le 14/09/2018.



potentielle des carabes granivores et omnivore a été développé. Pour la régulation des insectes ravageurs, un indicateur de niveau de régulation des pucerons a été élaboré.

#### vi. Equations prenant en compte les processus

- [A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity \(Butler \*et al.\*, 2009\)](#)

L'objectif de cette méthode est de développer un indicateur standardisé pour quantifier la richesse de la biodiversité agricole en se basant sur divers groupes taxonomiques. L'étude se base sur six changements majeur de l'agriculture anglaise ayant pu avoir un impact sur l'abondance et la disponibilité des ressources nécessaires aux différents groupes taxonomiques. Cet indicateur est donc développé à l'échelle du territoire anglais.

- [Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques : EFESE \(Therond \*et al.\*, 2017\)](#)

Les indicateurs en lien avec la pollinisation développés ou cités dans EFESE essaient de prendre en compte les processus régissant ce SE, comme par exemple le climat qui affecte l'activité des pollinisateurs ou la dépendance de la culture à la pollinisation. Ainsi, deux indicateurs sont proposés dans cette étude. Le premier est un indicateur de potentiel de pollinisation (tiré du programme européen MAES), obtenu par la multiplication d'une probabilité de visite par les pollinisateurs en fonction de la distance à l'habitat semi-naturel le plus proche et de la dépendance de la culture aux pollinisateurs. Le deuxième, développé dans le cadre du programme EFESE, estime la capacité d'accueil du milieu en termes de site de nidification et de butinage en se basant sur un modèle abeille sauvage (prenant en compte des données en lien avec l'environnement, le climat et le comportement des abeilles sauvages).

#### c) Indicateurs prédictifs basés sur un modèle complexe

Enfin, en ce qui concerne les indicateurs prédictifs basés sur un modèle complexe, un indicateur renseignant la quantité d'azote fournie par l'écosystème sur la période de culture (minéralisation + fixation) a été développé dans le cadre de l'étude EFESE. Il est obtenu en manipulant les sorties de le modèle STICS, un modèle permettant de simuler le système sol-atmosphère-culture et nécessitant une phase importante de paramétrage (Therond *et al.*, 2017).

Les différentes méthodes ayant été présentés, la problématique du stage va maintenant être précisée afin de comprendre quels étaient les objectifs et missions du stage.

## 3. Problématique

Le stage s'est déroulé dans le cadre des activités du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) « Grande Cultures à Hautes Performances Economiques et Environnementales » (GCHP2E), sous l'encadrement de Véronique Tossier (ARVALIS Institut du végétal) et Christian Bockstaller (INRA). Comme cela a pu être décrit dans la partie de contexte, l'érosion de la biodiversité nécessite un changement des pratiques agricoles. Des solutions existent d'ores et déjà, qui nécessitent d'être évaluées afin d'appréhender leurs effets sur la biodiversité et leur faisabilité, et des pratiques favorables à la biodiversité doivent être valorisées afin de pérenniser et encourager les changements de pratiques. Ce stage s'inscrit donc dans la démarche de développement d'outils permettant l'évaluation des effets des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE.

A l'heure actuelle, des méthodes ont déjà été développées afin d'évaluer conjointement la biodiversité et les performances économiques, comme DEXiPM par exemple. Cependant, ces méthodes sont principalement utilisées dans le domaine de la Recherche et Développement (R&D),

### ***Encadré 1 : Systerre ®, principe et fonctionnement (Jouy, 2012)***

**Systerre** ® est un « outil de calcul [...] d'indicateurs destiné à évaluer les performances techniques, économiques et environnementales des productions végétales sur une exploitation de grande culture ou de polyculture-élevage. L'évaluation est réalisée à plusieurs niveaux d'échelle : parcelle, sole, système de culture, exploitation. » (Jouy, 2012).

La saisie des données est annuelle et à la parcelle ; les analyses peuvent cependant se faire à un niveau pluriannuel, et différents niveaux d'agrégation sont possibles pour traiter l'échelle spatiale.

L'outil est connecté à de nombreuses bases de données en lien avec les produits phytosanitaires, les variétés, les engrais, etc. Ceci permet l'automatisation du calcul de 20 indicateurs. Ces indicateurs couvrent de nombreux domaines : technique (IFT produit et total, pression NPK, ...), économique (marge brute/nette, coûts de production, ...) et environnemental (notamment émission de gaz à effets de serre).

Cet outil est utilisé pour évaluer ou caractériser les pratiques d'exploitations agricoles, pour caractériser des « fermes types » dans le cadre d'études prospectives ou encore pour saisir des protocoles ou interventions et des observations d'essais systèmes.

L'outil est notamment délivré auprès de techniciens et ingénieurs de développement (Chambre d'agriculture, Coopérative, etc.) et référence par exemple les données et observations des essais systèmes d'Arvalis Institut du Végétal, pouvant dater d'une vingtaine d'années.

et ne sont pas transférées ou diffusées auprès des conseillers et agriculteurs. Ceci limite l'engagement des professionnels dans des changements de pratiques favorables à la préservation de la biodiversité et la valorisation des SE. La proposition a donc été d'étudier l'intégration d'indicateurs de biodiversité existants à un outil capable de réaliser une évaluation des performances technico-économique et déjà utilisés sur le terrain. L'outil Systerre<sup>®</sup>, inter instituts (Jouy, 2012), présenté dans l'encadré 1 ci-contre, a été retenu comme l'outil à valoriser pour cette intégration.

Ainsi, la problématique du stage est la suivante : « **Quels indicateurs permettant d'évaluer les effets des systèmes agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques peuvent être intégrés à Systerre<sup>®</sup> ?** »

Cette problématique peut être divisée de la manière suivante :

- « **Quelles sont les méthodes évaluant l'impact des pratiques ou des systèmes agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques ?** »
- « **Quelle est la capacité de ces méthodes à discriminer les effets de systèmes agricoles différents et à réaliser des évaluations cohérentes ?** »
- « **Quelle perspective pour l'intégration des indicateurs pertinents à l'outil Systerre<sup>®</sup> ?** ».

Pour résoudre ces éléments de problématique, le stage avait plusieurs objectifs :

- Premièrement, réaliser un **recensement des méthodes** permettant cette évaluation. Le cadre de cette recherche a été précisé afin de valoriser efficacement le temps du stage ;
- Ensuite, réaliser une **sélection de méthodes** et indicateur afin d'en appliquer le calcul sur des situations réelles. La volonté était de réaliser ce calcul à l'aide des données de la station expérimentale d'Arvalis située à Boigneville, afin de nuancer les résultats pris par les indicateurs grâce à l'expertise des acteurs de la station. Le parti pris a donc été d'évaluer la capacité des indicateurs à discriminer des SdC ;
- **Calculer** à proprement parler les indicateurs retenus, à l'aide des données collectées, analyser et discuter les résultats ;
- Enfin, faire des **recommandations** quant à l'intégration de tels indicateurs ou méthodes à l'outil Systerre<sup>®</sup>. La démarche se veut généralisable à d'autres études d'intégration d'indicateurs de biodiversité à des outils opérationnels.

En ce qui concerne la transcription de l'étude dans ce mémoire, l'état de l'art mentionné dans les missions du stage a été présenté avant la formulation de la problématique. La méthodologie en lien avec la sélection des méthodes et indicateurs à calculer avec les données de la station de Boigneville sera présentée, ainsi que les éléments en lien avec la collecte des données et le calcul. Les résultats des indicateurs calculés seront présentés et discutés, afin de conclure sur la capacité des différents indicateurs à différencier les SdC. Enfin la faisabilité et l'intérêt d'une possible intégration de tels indicateurs dans Systerre<sup>®</sup> seront détaillés, en essayant de proposer une trame transposable à d'autres outils EMC.

La prochaine partie présentera donc les éléments de méthodologie quant à la sélection de ces méthodes, la collecte des données en vue du calcul des indicateurs retenus, le calcul de ces indicateurs.

**Tableau 1 : Détail des critères renseignant chaque indicateur au sein de la grille d'analyse**

Source	Nom de l'indicateur	Domaine	Groupe/type de biodiversité évalué	Prise en compte des services écosystémiques	Type d'indicateur	Modèle	Type de sortie	Qualitatif/Quantitatif	Echelle	Remarque
Nom de la méthode ou de l'outil source	Nom de l'indicateur tel que cité dans la source	Différencie les indicateurs de biodiversité des services écosystémiques	Renseigne le type et le niveau de biodiversité évalué : générale (par exemple faune et flore), groupe taxonomique ou fonctionnel, espèce	Décrit si l'indicateur est explicitement lié à un SE dans la méthode source, ou si l'on peut établir ou non un lien	Définit le type d'indicateur	Précise le modèle de l'indicateur (seulement pour les indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple)	Décrit le type de sortie produit par l'indicateur	Définit si l'indicateur est quantitatif ou qualitatif	Détaille l'échelle d'application de l'indicateur	Précise notamment si l'indicateur décrit par la ligne résulte d'une agrégation et renseigne le niveau d'agrégation
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Biodiversité</li> <li>✓ Service écosystémique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Générale</b></li> <li>✓ <b>Groupe Fonctionnel :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arthropode auxiliaire</li> <li>• Adventice</li> <li>• Pollinisateur</li> <li>• ...</li> </ul> </li> <li>✓ <b>Groupe Taxonomique :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Syrphé</li> <li>• Coccinelle</li> <li>• Escargot</li> <li>• ...</li> </ul> </li> <li>✓ <b>Espèce :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lièvre d'Europe</li> <li>• Alouette des champs</li> <li>• ...</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Explicite/implicite</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilité du sol</li> <li>• Structuration du sol</li> <li>• Pollinisation</li> <li>• Régulation des bio-agresseurs</li> <li>• Dis-service</li> </ul> </li> <li>✓ <b>Absence de lien</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Indicateurs de cause</li> <li>✓ Indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple</li> <li>✓ Indicateurs prédictifs basés sur un modèle complexe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Approches qualitatives basées sur arbres de décision (DEXi)</li> <li>✓ Approches continues avec arbre de décision (logique floue)</li> <li>✓ Approches quantitatives utilisant l'occupation du sol</li> <li>✓ Méthodes basées sur des notes</li> <li>✓ Méthodes basées sur un modèle statistique</li> <li>✓ Equations prenant en compte les processus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Score</li> <li>✓ Classe</li> <li>✓ Abondance estimée</li> <li>✓ Grandeur physique</li> <li>✓ Etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Qualitatif</li> <li>✓ Quantitatif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Culture</li> <li>✓ Parcelle</li> <li>✓ Ilot parcelles</li> <li>✓ Système de culture</li> <li>✓ Exploitation agricole</li> <li>✓ Territoire</li> <li>✓ Nationale – France</li> <li>✓ Nationale – étranger</li> <li>✓ Européenne</li> </ul>	

## 4. Méthodologie : choix des méthodes et calcul des indicateurs

Cette partie a pour vocation d'explicitier la méthodologie utilisée dans l'étude, abordant ainsi, après un rappel de l'objectif de l'étude, la sélection des indicateurs à calculer, le choix des systèmes à évaluer et la collecte des données ainsi que les modalités de calcul.

L'objectif de l'étude est de **sélectionner plusieurs indicateurs issus des différentes méthodes décrites dans la première partie de ce document afin d'évaluer leur capacité à discriminer des SdC**. Afin d'avoir du recul sur les résultats, il a été décidé que la démarche serait de calculer les indicateurs retenus avec les données de la station expérimentale de Boigneville d'Arvalis. En effet, des mesures de terrain ou la consultation de personnes ressources, nombreuses sur la station, permettent de nuancer ou de valider les résultats pris par les indicateurs.

Afin d'avoir suffisamment d'éléments pour la comparaison, il a été décidé que les indicateurs seraient calculés sur trois années. Des changements importants de parcellaire ont eu lieu en 2016 pour la mise en place des Digifermes<sup>21</sup>. Une fusion de plusieurs parcelles a été réalisée afin d'en agrandir la taille, dans le but d'en étudier la variabilité intra-parcellaire. Il n'a donc pas été jugé favorable de prendre les trois dernières années culturales pour le calcul, les systèmes n'étant pas stabilisés du point de vue de leurs effets sur la biodiversité. De plus, Arvalis ayant piloté le CASDAR « Auximore », d'importants relevés de biodiversité ont eu lieu sur les années 2009 à 2011 et pourront servir de comparaison. Enfin, des analyses cartographiques sont aussi disponibles sur cette période. Pour ces raisons, il a été choisi de retenir ces trois années.

### 4.1 Choix des méthodes d'évaluation

#### a) Grille d'analyse

Lors de leur recensement, les indicateurs venant des différentes méthodes citées plus haut ont été renseignés dans une grille d'analyse servant de support à leur tri. Cette grille est un fichier Excel, dont chaque ligne renseigne des éléments d'information pour un indicateur. A noter que la mention de SE fait référence à ceux retenus dans le cadre de cette étude, à savoir les SE favorables aux productions agricoles.

Les critères d'analyses de la grille sont présentés et détaillés dans le tableau 1. Le critère « **Prise en compte des services écosystémiques** » nécessite quelques précisions. Il décrit si l'indicateur est lié explicitement un SE dans la méthode source, ou s'il est possible d'établir un lien. Par exemple, la méthode EFESE développe un indicateur « Abondance potentielle de carabes granivores » pour évaluer le potentiel de régulation des adventices, tandis que MODAM a un indicateur évaluant les syrphes en tant que tel, sans établir un lien entre le groupe évalué avec d'éventuels services de pollinisation ou régulation des ravageurs. Ils seront décrits dans la grille ainsi, respectivement : « Explicite : régulation des bioagresseurs » et « Implicite : Pollinisation ou régulation des ravageurs ». Certains groupes comme les escargots ont pu être lié à des disservices, tandis que pour certains groupes comme les amphibiens, ou pour des évaluations générales, des liens à des SE n'ont pu être établis.

Ces critères ont été choisis afin de décrire de la manière la plus exhaustive possible les différents indicateurs recensés mais aussi dans l'optique d'en effectuer des sélections. Ainsi, les critères permettent de sélectionner des indicateurs en lien avec certains groupes taxonomiques ou fonctionnels ou de voir les recoupements entre méthodes en termes de groupes évalués. Il est aussi possible de sélectionner des indicateurs afin de réaliser des évaluations très générales ou très

---

<sup>21</sup> Pour une description détaillée des Digifermes : <https://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/agriculture-connectee-arvalis-lance-le-projet-digifermes-en-partenariat-avec-l-idele-l-itb-et-terres-inovia-@/view-1171-arvstatiques.html>. Consulté le 14/09/2018.

**Tableau 2 : Récapitulatif des méthodes écartées en fonction des critères de sélection**

Critère 1 : Echelle SdC/Parcelle	Critère 2 : Cadre des grandes cultures	Critère 3 : Calculateur disponible	Critère 4 : Evalue groupe de biodiversité	Autres facteurs
<b>SPA</b>	SPA	SPA	SPA	SPA
Billeter <i>et al.</i> , 2007	Billeter <i>et al.</i> , 2007	Billeter <i>et al.</i> , 2007	Billeter <i>et al.</i> , 2007	Billeter <i>et al.</i> , 2007
MODAM	MODAM	<b>MODAM</b>	<b>MODAM</b>	MODAM
<b>A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity</b>	A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity	A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity	A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity	A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity
DEXiFruits	<b>DEXiFruits</b>	DEXiFruits	DEXiFruits	DEXiFruits
MASC 2.0	MASC 2.0	MASC 2.0	MASC 2.0	MASC 2.0
DEXiPM V1	DEXiPM V1	DEXiPM V1	DEXiPM V1	DEXiPM V1
DEXiPM V2	DEXiPM V2	DEXiPM V2	DEXiPM V2	DEXiPM V2
DEXiAbeilles	<b>DEXiAbeilles</b>	DEXiAbeilles	DEXiAbeilles	DEXiAbeilles
Arbre Auximore DEXi –Syrphes, Chrysopes, Coccinelles, Parasitoïdes De Pucerons	Arbre Auximore DEXi – Syrphes, Chrysopes, Coccinelles, Parasitoïdes De Pucerons	Arbre Auximore DEXi – Syrphes, Chrysopes, Coccinelles, Parasitoïdes De Pucerons	Arbre Auximore DEXi –Syrphes, Chrysopes, Coccinelles, Parasitoïdes De Pucerons	Arbre Auximore DEXi – Syrphes, Chrysopes, Coccinelles, Parasitoïdes De Pucerons
<b>IBEA</b>	IBEA	IBEA	IBEA	IBEA
SALCA	SALCA	SALCA	SALCA	<b>SALCA</b>
<b>EFESE</b> Pollinisation	EFESE Pollinisation	EFESE Pollinisation	EFESE Pollinisation	EFESE Pollinisation
EFESE Abondance potentielle de carabe	EFESE Abondance potentielle de carabe	EFESE Abondance potentielle de carabe	EFESE Abondance potentielle de carabe	EFESE Abondance potentielle de carabe
EFESE Régulation des pucerons	EFESE Régulation des pucerons	EFESE Régulation des pucerons	EFESE Régulation des pucerons	EFESE Régulation des pucerons
EFESE Azote fournie par l'écosystème	EFESE Azote fournie par l'écosystème	EFESE Azote fournie par l'écosystème	EFESE Azote fournie par l'écosystème	<b>EFESE Azote fournie par l'écosystème</b>
<b>Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series</b>	Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series	Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series	Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series	Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series
<b>EnRisk project</b>	EnRisk project	EnRisk project	EnRisk project	EnRisk project
Icarab	Icarab	Icarab	Icarab	<b>Icarab</b>

	Indicateurs écartés par le critère
	Indicateurs écartés un critère précédent



précises, au niveau de l'espèce. Il est aussi possible de raisonner par type de SE à étudier. Bien que toutes les méthodes n'explicitent pas le lien entre le type de biodiversité évalué et un potentiel de SE (évaluation de la biodiversité en soi et non pour ses services), dans un cadre d'étude de la régulation des pucerons par exemple, un indicateur en lien avec les syrphes peut présenter un intérêt. Enfin plusieurs critères détaillent des éléments « techniques » liés aux indicateurs, comme le type et modèle de l'indicateur et ses sorties. Ceci permet de faire une sélection pour comparer des résultats à modèle égal (logique floue, arborescence DEXi, prise en compte des processus, etc.) ou par type de sortie (qualitative ou quantitative, mais aussi notes par exemple). Enfin, l'échelle de l'évaluation est un élément d'information important, les indicateurs étant développés pour un contexte d'utilisation précis. Ainsi, l'ensemble de ces critères permet une bonne description des indicateurs dans le cadre d'une sélection pour un calcul lié à une situation définie. L'introduction des données d'entrée nécessaires pour leur calcul a été envisagée, mais complexifiait le fichier et ne rentrait pas dans le cadre du stage pour lequel l'accès à la donnée n'était pas un frein.

### b) Sélection des méthodes en vue du calcul avec les données des essais de Boigneville

Afin de sélectionner les méthodes et indicateurs en vue d'un calcul, il a été décidé de définir des critères de choix et de se servir de la grille d'analyse précédemment décrite.

Voici les critères généraux retenus pour la sélection des méthodes :

- **Critère 1** : Le travail portant sur des comparaisons de SdC, seuls les indicateurs réalisant des évaluations à l'échelle du SdC ou de la parcelle ont été retenus ;
- **Critère 2** : Le stage se faisant dans le cadre des activités du GIS HP2E, seuls des indicateurs venant de méthodes en accord avec la conduite en **grandes cultures** ont été retenus. En effet, l'objectif du stage n'était pas d'adapter des indicateurs conçus pour d'autres productions au contexte des grandes cultures, mais de reprendre des indicateurs existants dans le cadre prévu pour leur calcul ;
- **Critère 3** : Les **calculateurs** des indicateurs devaient exister afin de rendre plus aisé leur calcul dans le temps imparti du stage, permettant de se concentrer sur des méthodes plus facilement transférables ;
- **Critère 4** : La priorité portait sur des **indicateurs évaluant des groupes fonctionnels et/ou taxonomiques** et non des espèces seules. En effet, cela facilite le travail de comparaison, les espèces évaluées seules étant assez singulières, au contraire de groupes taxonomiques ou fonctionnels pouvant être évalués dans plusieurs méthodes ;
- Enfin, malgré leur faible puissance explicative supposée, les **indicateurs de cause** de Billeter *et al.* (2007) ont été conservés car rapidement calculables. De plus, la confrontation des résultats pris par ces indicateurs de cause et des indicateurs prédictifs peut fournir des résultats intéressants quant à la réelle puissance explicative ou à l'estimation fournie par ce genre d'indicateurs.

En plus des méthodes retirées de par ces critères de sélection, Icarab n'a pas été retenu pour la suite, les données d'échantillonnage de carabes réalisées à Boigneville ayant contribué à la construction de l'outil. En ce qui concerne les indicateurs de biodiversité développés en parallèle de la méthode SALCA, la procédure pour leur obtention des auteurs suisses était trop compliquée et trop longue par rapport au calendrier du stage. L'indicateur EFESE « quantité d'azote fournit par l'écosystème à la culture » a été retiré, même si rentrant dans les filtres cités. En effet, sa manipulation nécessite le paramétrage et l'utilisation d'un modèle complexe, STICS. Le tableau 2 présente les méthodes écartées en fonction des critères de choix considérés.

### c) Détail des méthodes retenues

Les méthodes et indicateurs retenus à l'aide des critères de sélection sont les suivants :

- **Les indicateurs de cause de Billeter *et al.*, 2007 ;**

Tableau 3 : Indicateurs retenus pour un calcul avec les données collectées sur la station de Boigneville

Source	Nom de l'indicateur	Domaine	Groupe/type de biodiversité évalué	Echelle
<b>Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study</b>	Moyenne en kg N/ha/an d'apport d'azote minéral sur les parcelles du SdC	Biodiversité	GT : oiseau	SdC
	Pourcentage de la SAU recevant plus de 150 kg N/ha/an sur la SAU totale du SdC	Biodiversité	GT : plante vasculaire	SdC
	Diversité des habitats semi-naturels dans un rayon de 1 km	Biodiversité	GT : abeille	SdC
	Moyenne du % de surfaces couvertes en habitat semi-naturel dans un rayon de 1 km	Biodiversité	GT : plante vasculaire, faune	SdC
	Nombre de cultures dans la rotation	Biodiversité	GF : arthropode auxiliaire	SdC
	Diversité des familles cultivées	Biodiversité	GF : arthropode auxiliaire	SdC
<b>EFESE</b>	Abondance potentielle des carabes omnivores	SE	GF : carabe omnivore	Parcelle
	Abondance potentielle des carabes granivores	SE	GF : carabe granivore	Parcelle
	Niveau de régulation des pucerons	SE	GF : ennemis naturel des pucerons	Parcelle
<b>Auximore</b>	Potentiel Syrphe	Biodiversité	GF : syrphe aphidiphage	Parcelle
<b>MASC 2.0</b>	Conservation de la biodiversité	Biodiversité	générale	SdC
	Conservation de la macrofaune du sol	Biodiversité	GF : macrofaune du sol	SdC
	Conservation des insectes volants	Biodiversité	GF : insecte volant	SdC
	Conservation de la flore	Biodiversité	GT : flore	SdC
	Conservation des micro-organismes du sol	Biodiversité	GF : micro-organisme du sol	SdC
<b>DEXiPM V1</b>	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité	générale	SdC
	Adventices	Biodiversité	GF : adventices	SdC
	Flore naturelle/semi-naturelle	Biodiversité	GF : flore naturelle/semi-naturelle	SdC
	Ennemis naturels du sol	Biodiversité	GF : Ennemis naturels du sol	SdC
	Ennemis naturels volants	Biodiversité	GF : Ennemis naturels volants	SdC
	Pollinisateurs	Biodiversité	GF : pollinisateurs	SdC
<b>DEXiPM V2</b>	Statut de la flore semi-naturelle	Biodiversité	GF : adventices	SdC
	Balance optimale en adventices	Biodiversité	GF : flore naturelle/semi-naturelle	SdC
	Ennemis naturels volants	Biodiversité	GF : Ennemis naturels volants	SdC
	Ennemis naturels rampants	Biodiversité	GF : Ennemis naturels rampants	SdC
	Ennemis naturels du sol	Biodiversité	GF : Ennemis naturels du sol	SdC
	Faune (vertébrée)	Biodiversité	GT : Vertébrés	SdC
	Faune (invertébrée)	Biodiversité	GT : invertébrés	SdC

- Les indicateurs « **Abondance potentielle de carabes** » et « **Régulation naturelle de pucerons** » issus **du programme EFESE** ;
- **Le modèle recherche DEXi Syrphe d’Auximore**. En effet, les quatre arbres donnant des résultats proches, seul l’arbre en lien avec les syrphes a été amélioré depuis la publication de Chabert, 2015, et sera donc le seul calculé (André Chabert, *com. pers.*) ;
- **Les deux versions du modèle recherche DEXiPM** ;
- Enfin, **le modèle terrain MASC 2.0**.

Le tableau 3 présente les différents indicateurs de ces méthodes qui seront donc calculés à l’aide des données issues de la station expérimentale de Boigneville. Un descriptif plus complet de ces méthodes se trouve en Annexe I. A noter qu’un indicateur de cause supplémentaire a été ajouté. En effet, l’indicateur « Nombres de cultures dans la rotation » ne pouvait différencier que des situations extrêmes, par exemple une monoculture et une rotation complexe intégrant de nombreuses espèces. Ainsi, afin d’avoir un indicateur évaluant la diversité de la rotation en permettant une évaluation plus fine, il a été décidé de prendre le critère « Diversité des familles cultivées » de la méthode MASC 2.0. Ce critère est calculé à l’aide de l’indice de diversité réciproque de Simpson<sup>22</sup>. Ceci permet de rendre compte de manière commune du nombre de familles botaniques au sein de la rotation et de l’équitabilité de leur répartition.

## 4.2 Choix des systèmes à évaluer

### a) Présentation des systèmes

Sur la période s’étalant de 1990 à 2015, une partie du dispositif d’expérimentation présent sur la station de Boigneville d’Arvalis s’appelait « Les microfermes de Boigneville ». L’objectif de ce dispositif était d’évaluer différents SdC en termes de faisabilité, résultats économiques et satisfaction des normes environnementales. Parmi les SdC présents sur cette période, certains systèmes ont été conçus afin d’anticiper les questions et les pratiques futures des agriculteurs. Chaque système avait un objectif, et pouvait présenter un certains lots de contraintes (Arvalis Institut du végétal, 2011 ; Perspectives Agricoles, 2010).

Sur les trois années retenues pour le calcul, 5 SdC étaient présents sur Boigneville :

- **Monoculture de blé (MONO)** : les objectifs de ce SdC étaient de simplifier au maximum le système tout en essayant de maintenir la qualité du produit ;
- **Raisonné (RAIS)** : en ce qui concerne ce système, la volonté était de rechercher l’efficacité maximale des intrants en ayant notamment recours à des outils d’aide à la décision ;
- **Intégré (INT)** : ce système avait pour objectif de réduire par deux l’Indice de Fréquence de Traitement (IFT) total par rapport au système Raisonné, et d’être éligible à la certification Haute Valeur Environnementale (HVE) de niveau 3 ;
- **Mach II (MACH)** : en 2009/2010 ce système était en Techniques Culturelles Simplifiées (TCS) avec pour objectif une réduction du nombre de passages, et en 2011 est passé en Semis sous Couvert Végétal (SCV) ;
- **Agriculture biologique (BIO)** : système certifié en Agriculture Biologique (AB), pas d’apport extérieur en engrais et 2 ans de luzerne sur une rotation de six ans pour compenser cette absence de fertilisation organique.

En ce qui concerne des remarques générales quant aux conditions présentes sur la station pouvant avoir des conséquences sur la biodiversité, deux éléments sont importants à noter :

<sup>22</sup> L’indice de diversité réciproque de Simpson est égal à :  $1/(\sum(P_i^2))$ , avec  $P_i$  la proportion de chaque famille botanique au sein de la rotation.

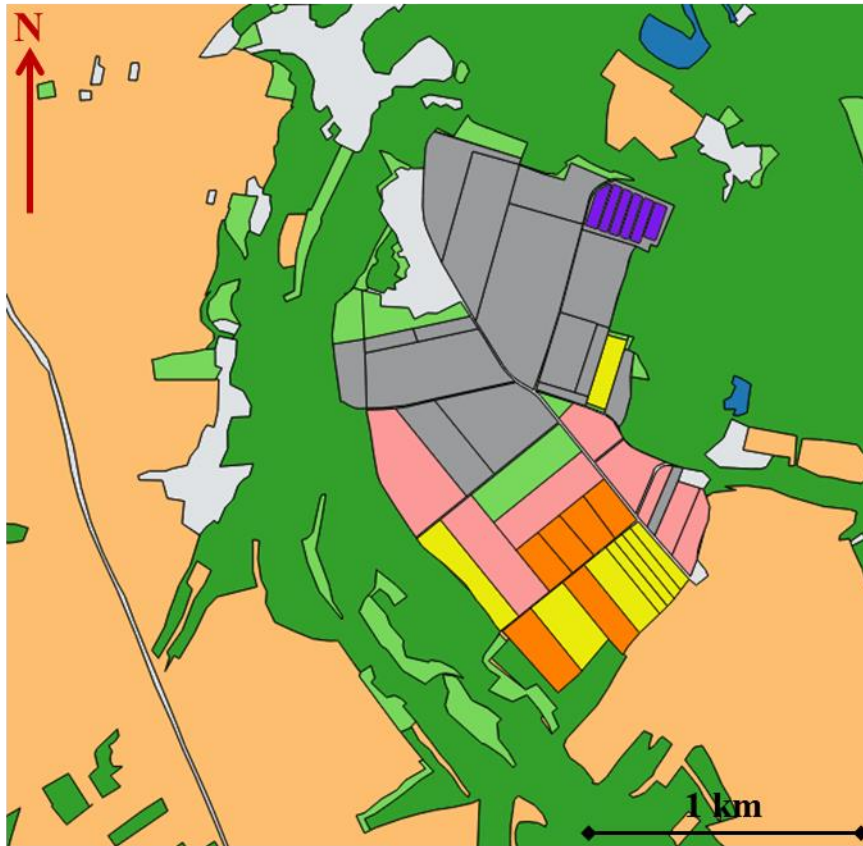


Figure 5 : Répartition des SdC étudiés sur le parcellaire de la station expérimentale de Boigneville, 2009

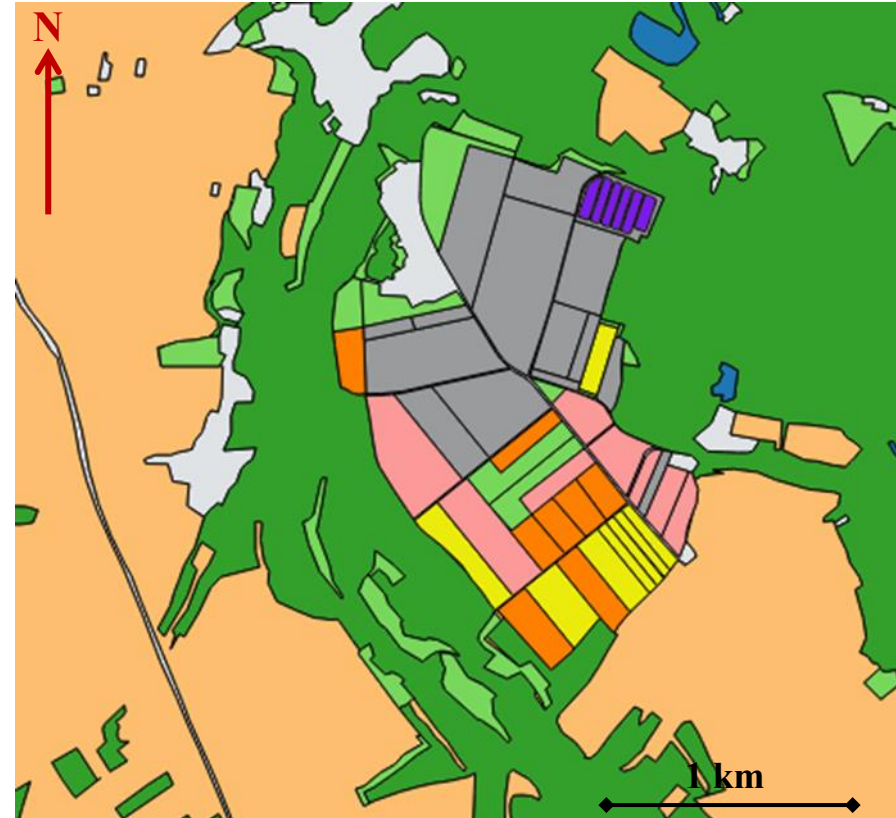













Figure 6 : Répartition des SdC étudiés sur le parcellaire de la station expérimentale de Boigneville, 2010/11

**LEGENDE :**

- |   |                                  |   |          |
|---|----------------------------------|---|----------|
|  | Bois                             |  | Intégré  |
|  | Eau                              |  | Jachère  |
|  | Jachères ou terres non cultivées |  | Mach II  |
|  | Terres agricoles                 |  | Raisonné |
|  | Urbain                           |  | Bio      |
|   |                                  |  | Autres   |

- Les parcelles de la station sont soumises à une forte pression en adventices, le recours aux herbicides est donc important en ce qui concerne les systèmes basés sur des intrants chimiques et les interventions de désherbage mécaniques sont nombreuses dans le système BIO ;
- La pression en nuisibles est relativement faible (peu de dommages dus aux pucerons d'automne par exemple), le recours aux produits phytosanitaires étant limité sur des années sans pressions particulières. Cependant, des années à risque peuvent aboutir à des IFT insecticides important.

Enfin, pour tous les systèmes, tous les termes de la rotation sont présents chaque année sur la station.

### b) Choix des systèmes

Le système de monoculture de blé a été écarté, à cause du faible nombre de parcelles le composant. De plus, par sa conception, il est peu représentatif des modèles agricoles actuels. En effet, en 2011, seulement 1.2 % des surfaces de blé tendre et 4 % des surfaces de blé dur étaient en monoculture (Adélaïde Wissocq, *com. pers.* sur base d'extrait de l'enquête SSP 2011).

Les quatre autres systèmes ont été retenus pour le calcul. En effet le système RAIS, étant le plus proche de l'agriculture « conventionnelle », servira de « témoin ». Les quatre systèmes présentent des gradients d'utilisation de produits phytosanitaires, la classification étant, du plus intensif au moins intensif : RAIS~MACH (le système MACH ayant un recours important aux herbicides, l'IFT global est semblable au système RAIS), INT, BIO. En ce qui concerne le travail du sol, un gradient peut aussi être déterminé, allant du système le plus intensif en désherbage mécanique au le moins intensif : BIO, INT~RAIS, MACH. Ainsi, ces gradients devraient pouvoir être mis en évidence par le calcul des indicateurs.

## 4.3 Collecte des données et calcul des indicateurs

### a) Présentation du parcellaire de Boigneville

Les figures 5 et 6 présentent le parcellaire de Boigneville, la couleur de la légende indiquant les différents systèmes retenus.

**Les systèmes RAIS/INT/MACH partagent une situation géographique proche, tandis que le système BIO est plus excentré au niveau de la station, et donc possède un contexte paysager singulier** (car situé en lisière de forêt). Cette différence peut avoir des conséquences importantes sur les résultats des indicateurs et sera donc à garder en mémoire pour en réaliser une analyse objective et éviter les confusions d'effets (attribution des résultats au seul effet des pratiques agricoles).

Un léger changement de parcellaire a eu lieu en 2010, avec la création de quelques parcelles, mais surtout la mise en jachère d'une partie des surfaces anciennement cultivées.

### b) Collecte des données

Les données concernant les pratiques culturales telles que les interventions mécaniques, de fertilisation ou d'épandage de produits phytosanitaires ayant lieu sur la station de Boigneville sont consignées de manière systématique dans le logiciel Systerre ®. Pour rappel, cet outil référence, à la parcelle, les différentes interventions sur la durée d'un cycle cultural. Il peut aussi calculer de nombreux indicateurs techniques, économiques et environnementaux à différentes échelles (parcelle, SdC, exploitation agricole).



Les données ont été récupérées brutes, transformées sous divers indicateurs (IFT, apport d'azote à l'hectare, etc.) ou manipulées afin de correspondre aux critères d'entrées des méthodes (par exemple, calcul de l'IFT d'herbicides à spectre large).

Les données cartographiques ont été collectées à l'aide du logiciel QGIS. Les fonds de carte ont été réalisés par l'experte SIG d'Arvalis, Julie Callens. Des éléments comme la largeur des bandes enherbées ou des bords de champ ont été obtenus à l'aide de Google Earth Pro.

Enfin, certaines données difficiles d'accès ou relevant de la stratégie de conduite des cultures sur la station ont été renseignées à dire d'expert par Patrick Retaureau, notamment impliqué dans la conception des SdC de la station de Boigneville et dans l'analyse de leurs résultats

## 4.4 Calcul des indicateurs :

### a) Calcul de l'indicateur « Potentiel Syrphé » des arbres DEXi Auximore

Le calcul de ces indicateurs a été réalisé par André Chabert (sur la base des données collectées qui lui ont été transmises), chargé d'études à l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA), créateur de la méthode. L'indicateur se calcule à l'échelle de la parcelle, ce qui, au vu des SdC retenus pour cette étude, revenait à calculer 88 indicateurs et à en faire la synthèse par système-année. Pour éviter de consacrer trop de temps au calcul de cet indicateur, une seule parcelle par système a été retenue, ce qui représente 12 calculs au total (la même parcelle par système ayant été utilisée pour les trois années). Les données renseignées pour chaque parcelle au sein d'un système présentant peu de variabilité, la méthode est peu susceptible de varier sur l'indicateur global « Potentiel Syrphé ». Les 12 indicateurs calculés à la parcelle ont donc été considérés comme généralisables aux systèmes (André Chabert, *com. pers.*).

### b) Uniformisation du contexte paysager, système BIO

Comme aperçu sur la carte présentant le parcellaire de Boigneville, le système BIO a un contexte paysager particulier, plus marqué par la présence de bois. Ce contexte peut biaiser la comparaison inter-système, en masquant l'effet des pratiques. Afin de faciliter la comparaison des systèmes et des méthodes, des calculs supplémentaires ont été réalisés en uniformisant le paysage du système BIO à celui des autres systèmes. La méthode MASC 2.0 ne nécessitant pas de données de paysage, la comparaison paysage singulier/homogénéisé se fera uniquement entre les deux versions de DEXiPM.

### c) Représentation graphique des résultats

En ce qui concerne les codes couleurs utilisés pour les représentations graphiques des résultats des indicateurs de cause, les choix suivants ont été faits :

- Pour les indicateurs « Nombre de cultures dans la rotation » et « Diversité des habitats semi-naturels », la gamme de valeurs étant très faible, seulement des teintes de bleu ont été utilisées pour représenter les différents résultats ;
- Pour les autres indicateurs, la démarche a été d'utiliser la mise en forme conditionnelle proposée par Excel. Par indicateur, les valeurs les plus favorables et défavorables à la biodiversité servent d'extrêmes à la gamme de couleur, comme précisé dans la légende du tableau 4.

Le code couleur des tableaux représentant les sorties des méthodes DEXi est celui classiquement présenté dans les publications présentant des résultats issus de cette méthode.

Les éléments de méthodologie détaillés ont porté sur le choix des méthodes et des systèmes à évaluer, la collecte des données et des calculs des indicateurs. Les résultats de ces calculs vont donc être maintenant présentés, par ordre de complexité croissante des indicateurs : en premier les

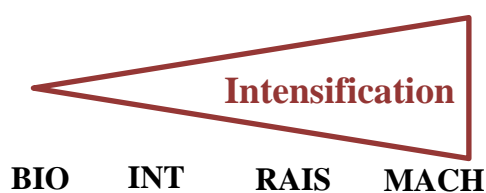
**Tableau 4 : Résultats des indicateurs de cause**

		RAIS	INT	MACH	BIO
Moyenne en kg N/ha/an d'apport d'azote minéral sur les parcelles du SdC	2009	117	71	123	0
	2010	151	85	152	0
	2011	91	83	118	0
Pourcentage de la SAU recevant plus de 150 kg N/ha/an sur la SAU totale du	2009	59	0	52	0
	2010	54	0	61	0
	2011	25	10	40	0
Nombre de cultures dans la rotation	2009	5	5	4	4
	2010	5	5	5	4
	2011	4	5	5	4
Diversité des familles cultivées (DFC)	2009	2.27	2.27	1.60	2.67
	2010	2.27	2.27	2.27	2.67
	2011	1.60	2.27	2.27	2.67
Moyenne du % de surfaces couvertes en habitat semi-naturel dans un	2009	41	41	39	64
	2010	41	42	40	64
	2011	41	42	40	64
Diversité des habitats semi-naturels dans un rayon de 1 km **	2009	4	4	4	4
	2010	4	4	4	4
	2011	4	4	4	4

\* Bois et jachères

\*\* En nombre d'éléments différents (Haie, bande enherbée, jachère, bois)

Cas le plus défavorable	Cas intermédiaire	Cas le plus favorable



**Figure 7 : Gradient d'intensification des systèmes, selon les indicateurs de cause**



indicateurs de cause, ensuite les indicateurs issus du programme EFESE, et enfin les indicateurs des méthodes DEXi.

## 5. Résultats

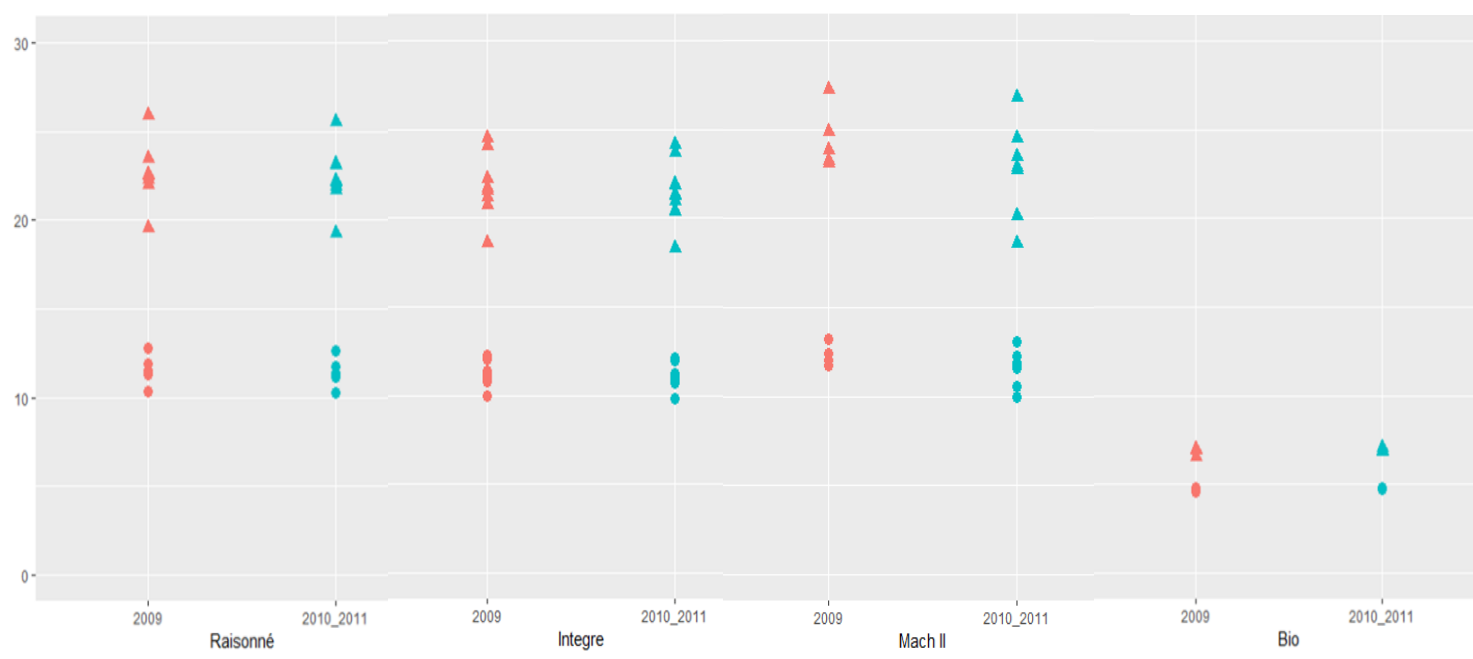
Les résultats présentés dans cette partie sont donc les calculs des différents indicateurs retenus, appliqués aux parcelles de quatre SdC de la station expérimentale de Boigneville. **L'ordre de présentation sera le suivant : en premier les indicateurs de cause de Billeter *et al.*, 2007 ; puis les indicateurs prédictifs issus d'analyses statistiques développés dans le cadre du programme EFESE et enfin les indicateurs prédictifs basés sur la méthode DEXi (Auximore, MASC 2.0, DEXiPM V1 et DEXiPM V2).** Cet ordre suit donc la complexité des indicateurs calculés. En ce qui concerne les méthodes DEXi, les indicateurs seront comparés en commençant par l'indicateur permettant d'évaluer la biodiversité en général, puis les comparaisons se feront par type de biodiversité à savoir : ennemis naturels volants/insectes volants, ennemis naturels rampants/ennemis naturels du sol, flore adventice, flore semi-naturelle. Enfin, seule la méthode MASC 2.0 présente un indicateur évaluant les micro-organismes du sol, celui-ci sera donc traité à part.

Certains indicateurs calculés n'ont pas été traités, à l'instar des indicateurs « Faune vertébrée » et « Faune invertébrée » du modèle DEXiPM V2, principalement par manque de temps et car ils étaient moins prioritaires que les autres indicateurs. En effet, les organismes constituant la faune vertébrée et invertébrée ont pu être partiellement évalués à l'aide des indicateurs en lien avec les ennemis naturels, et correspondaient moins à l'angle « biodiversité auxiliaire » donné à l'étude. Ils présentaient de plus moins d'originalité que l'indicateur « Conversation des micro-organismes du sol » de la méthode MASC 2.0. Enfin l'indicateur « Pollinisateurs » de la méthode DEXiPM V1 n'a pas été présenté lui aussi car il prenait exactement les mêmes valeurs que l'indicateur « Ennemis naturels volants » de cette même méthode. Les résultats des arbres d'agrégation des deux versions de DEXiPM et de MASC 2.0 sont cependant présentés intégralement en Annexe II.

### 5.1 Indicateurs de cause

Les indicateurs de cause présentés dans le tableau 4 sont issus du travail de Billeter *et al.*, 2007. Ce sont des indicateurs de cause portant sur les pratiques, à savoir la fertilisation minérale azotée et le choix de la rotation, ainsi que sur la composition du paysage en termes d'éléments semi-naturels. Le premier constat est que ces indicateurs **mettent en évidence l'existence de différences de pratiques entre les systèmes**. Ces différences entre systèmes ne sont cependant pas captées par tous les indicateurs de cause. En effet, l'indicateur « Diversité des habitats semi-naturels dans un rayon de 1 km » ne permet pas de comparer des systèmes ayant une situation géographique proche, partageant souvent le même paysage sur cette surface. Comme précisé dans la méthodologie, l'indicateur « Diversité des familles cultivées » se rapproche de l'indicateur « Nombre de cultures dans la rotation », mais représente plutôt le nombre de familles botaniques présentes dans la rotation et leur équitabilité. Cette transformation permet de faire apparaître des différences entre les systèmes, auparavant masquées.

Un gradient d'intensification semble apparaître, au regard de l'analyse de l'ensemble des indicateurs de cause calculés, avec le système **MACH comme le plus intensif, suivi du système RAIS assez intensif, le système INT étant intermédiaire et enfin le système BIO comme le plus extensif** qui serait favorable à la biodiversité. La figure 7 schématise ce gradient. Le gradient mis en évidence est cohérent avec celui déterminé quant à l'utilisation de produits phytosanitaires et s'avère être aussi lié à un gradient d'intensité de fertilisation. L'existence de ce gradient et sa mise en évidence par ces indicateurs valident la démarche de comparaison des méthodes d'évaluation, le jeu de données – les SdC choisis – étant assez diversifié.



**type\_carabe**

- granivore
- ▲ omnivore

**Annee**

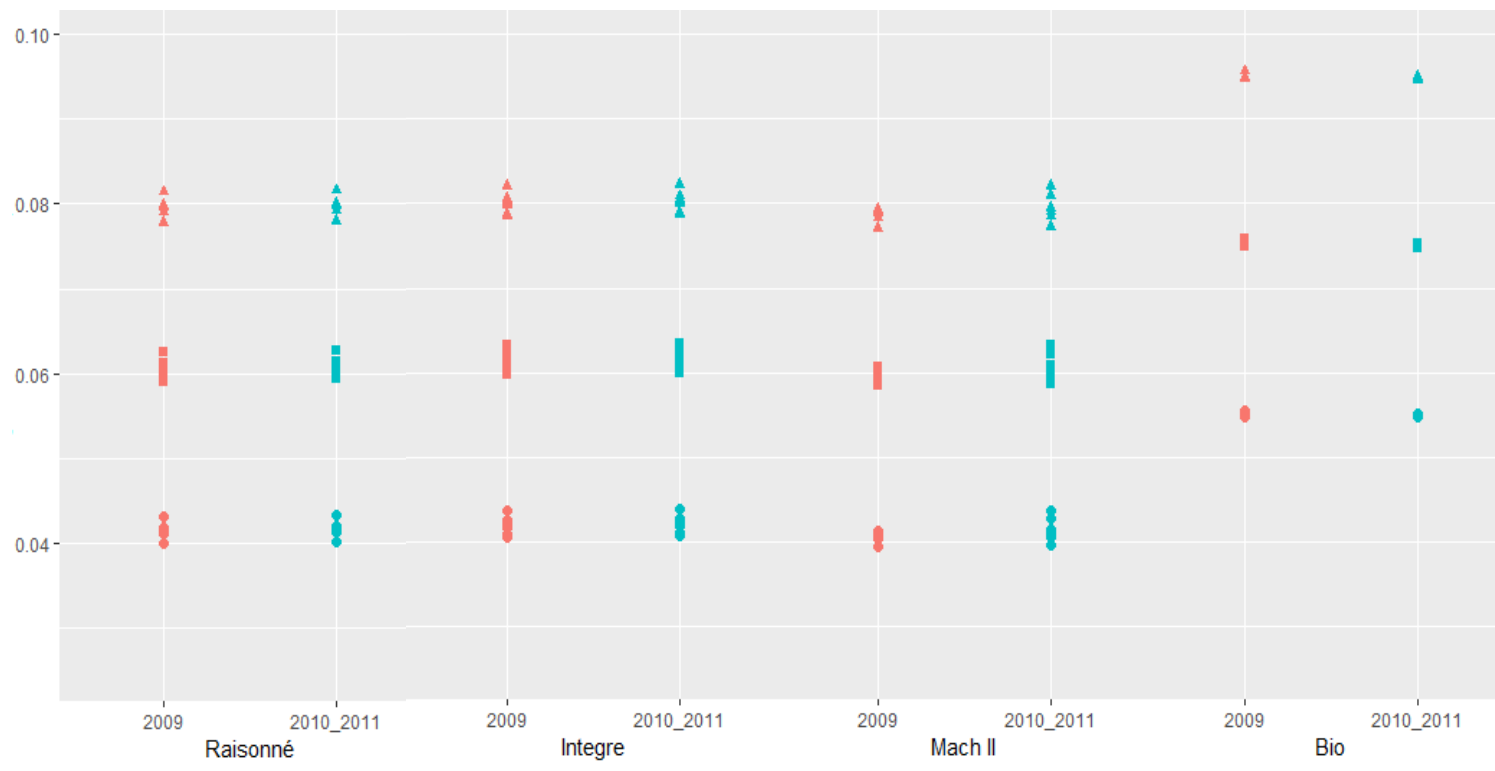
- 2009
- 2010\_2011

Abondance carabes granivores ( $\log_{10}(x + 0.5)$ ) :  
 $Ab\_grani = 0.300 + 0.0135 * CROP + 0.00070 * CROP * GRASS$

Abondance carabes omnivores ( $\log_{10}(x + 0.5)$ ) :  
 $Ab\_omni = 0.333 + 0.0181 * CROP + 0.021 * GRASS$

Pourcentage de couverture en grandes cultures (CROP) prairies permanentes (GRASS) dans un rayon de 1 km centré sur le centroïde de chaque parcelle.

**Figure 8 : Résultat des indicateurs EFESE : Abondance potentielle des carabes**



**Annee**

- 2009
- 2010\_2011

**Niveau\_potentiel\_de\_regulation**

- bas
- moyen
- ▲ haut

Niveau de régulation potentiel bas :  
 $Regu\_bas = 0.068 - 0.00047 * CROP$

Niveau de régulation potentiel moyen :  
 $Regu\_moy = 0.089 - 0.0005 * CROP$

Niveau de régulation potentiel :  
 $Regu\_haut = 0.11 - 0.00054 * CROP$

Pourcentage de couverture en grandes cultures (CROP) dans un rayon de 1 km centré sur le centroïde de chaque parcelle.

**Figure 9 : Résultats des indicateurs EFESE : Régulation potentielle des pucerons**

Ces indicateurs sont tous corrélés à des RS de certains taxons, comme mentionné dans l'état de l'art et détaillé en Annexe I. Par exemple, le pourcentage de terres agricoles fortement fertilisées est négativement corrélé avec la RS des plantes vasculaires. Ainsi, les différences constatées entre les systèmes prédisent, au regard de la bibliographie, des effets assez variés des SdC sur la biodiversité. La tendance du système BIO comme étant le plus favorable, ainsi que la hiérarchie résultant de l'analyse de ces indicateurs, seront des éléments à comparer avec les résultats des autres méthodes. Ceci permettra d'argumenter ou de démentir la faible valeur explicative ou prédictive de ces indicateurs mentionnée dans l'état de l'art.

## 5.2 Indicateurs EFESE

Ces indicateurs sont calculés à l'aide de données quant à l'occupation du sol sur un rayon d'1 km autour du centre de chaque parcelle. Les formules de calcul sont précisées sur les figures 8 et 9. Dans le cas de notre calcul, l'absence de prairies permanentes dans le paysage fait que le seul critère s'exprimant pour ces calculs est le pourcentage de grandes cultures dans un rayon d'1 km du centre de chaque parcelle.

Or, les systèmes RAIS, INT et MACH partagent un contexte paysager proche, caractérisé par environ 56 % de grandes cultures dans un rayon d'1 km. Au contraire, le système BIO est proche d'importantes surfaces boisées, environ 60 %, les surfaces occupées par les grandes cultures n'étant que de 28 % en moyenne pour ce système.

**Ainsi, les résultats des deux indicateurs « abondance potentielle des carabes » et « régulation potentielle des pucerons » sont dans des gammes de valeurs proches pour les systèmes RAIS, INT et MACH.** En ce qui concerne le système BIO, l'abondance potentielle des carabes est plus faible car positivement corrélée à la présence de grandes cultures, et inversement pour la régulation potentielle de pucerons.

La **variation interannuelle** s'explique par une modification du parcellaire en 2010, certaines parcelles cultivées étant mises en jachère, ce qui réduit la proportion de terres cultivées dans le paysage. Les résultats des indicateurs pour 2010 et 2011 ont été regroupés car les valeurs étaient strictement identiques.

La nature de ces résultats pose une question qu'il est nécessaire d'éclaircir maintenant afin de décider si ces indicateurs seront par la suite analysés conjointement avec les autres méthodes ou non. En effet, les différences entre les trois systèmes partageant le même contexte paysager devraient être *a priori* plus marquées du fait de leurs différentes stratégies. Des données de terrain étant disponibles, la confrontation des résultats avec ces données permet d'éprouver la fiabilité de ces indicateurs. Une publication sur les différences de populations de *Carabidae* entre trois des systèmes étudiés a été réalisée, le tableau 5 présente ces résultats (Tosser et Chapelin-Viscardi, 2016).

Bien que cette publication ait été réalisée avec des données issues des années de récolte 2014 et 2015, ces variables sont issues de SdC ayant peu évolué depuis les années de notre étude (2009 à 2011). De plus, les carabes sont des organismes avec une bonne capacité de dispersion et de recolonisation, ce qui limite les effets d'éventuels changements. Ainsi, la confrontation avec les résultats des indicateurs EFESE est jugée possible. En confrontant les valeurs réelles d'abondance des carabes avec les résultats d'abondance potentielle, l'écart est important. En effet les données de terrain pour les systèmes BIO et RAIS montrent une abondance similaire, alors que celle du système MACH est environ 3 fois plus faible. La conclusion n'est pas la même avec les résultats des indicateurs d'EFESE. Les abondances élevées dans les deux systèmes cités sont dues à la dominance d'un faible lot d'espèces tolérantes aux pratiques plus intensives de ces systèmes. De

**Tableau 5 : Abondance et diversité des carabes pour 3 systèmes de la station expérimentale de Boigneville, année de récolte 2014 et 2015. D'après Tosser et Chapelin-Viscardi (2016)**

Système de culture	Abondance	Diversité spécifique	Indice de Shannon	Equitabilité
Raisonné	3 128	44	2.94	0.54
Mach II	1 039	46	3.46	0.63
Bio	3 718	43	2.37	0.44

**Tableau 6 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la biodiversité – systèmes RAIS et INT**

Système	RAIS			INT		
	Méthode	DEXiPM V1	DEXiPM V2	Méthode	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Critère	Conservation de la biodiversité	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité	Conservation de la biodiversité	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité
2009	1/4	2/5	3/5	1/4	4/5	4/5
2010	1/4	2/5	2/5	1/4	4/5	3/5
2011	1/4	1/5	2/5	1/4	1/5	4/5

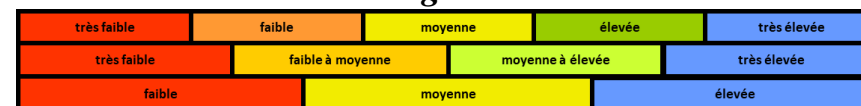
**Tableau 7 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la biodiversité – systèmes MACH et BIO**

Système	MACH			BIO		
	Méthode	DEXiPM V1	DEXiPM V2	Méthode	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Critère	Conservation de la biodiversité	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité	Conservation de la biodiversité	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité
2009	1/4	2/5	3/5	3/4	5/5	5/5
2010	2/4	3/5	3/5	3/4	5/5	5/5
2011	2/4	2/5	3/5	3/4	5/5	5/5

**Tableau 8 : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la biodiversité : impact du contexte paysager du système BIO**

Système	BIO			
	Méthode	DEXiPM V1 *	DEXiPM V2	DEXiPM V2 *
Critère	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité aérienne et épigée	Biodiversité aérienne et épigée
2009	5/5	5/5	5/5	3/5
2010	5/5	5/5	5/5	3/5
2011	5/5	5/5	5/5	3/5

### Légende



\* même paysage que les autres SdC

plus, l'indice de Shannon et les valeurs d'équitabilité renseignent sur le caractère perturbé des systèmes RAIS et BIO, tandis que le système MACH est plus à l'équilibre (Tosser et Chapelin-Viscardi, 2016).

**Le manque de corrélation avec les données de Boigneville à l'échelle du SdC vient du fait que ces indicateurs ne permettent pas d'évaluer des SdC**, et sont plutôt conçus afin de comparer des territoires. Dans le rapport d'étude produit par l'INRA dans le cadre du programme EFESE, dont le but est de cartographier les SE à l'échelle de la France, la carte représentant à l'échelle nationale les valeurs prises par les indicateurs d'abondance potentielle de carabes sont exprimés sur des mailles de 2 km par 2 km, idem pour l'indicateur de régulation potentielle des pucerons. **Ainsi, ces indicateurs ne sont pas adaptés à l'échelle du SdC et ne seront pas retenus pour la suite de cette étude.** Par ailleurs, une étude récente, très poussée, tend à montrer que la réponse des auxiliaires à la composition du paysage environnement n'est pas évidente à démontrer (Karp *et al.*, 2018).

### 5.3 Méthodes DEXi

La présentation des résultats des méthodes DEXi (Auximore, MASC 2.0, DEXiPM V1 et DEXiPM V2) se fera par composante de la biodiversité, permettant des comparaisons entre les méthodes lorsque les indicateurs le permettent. Les premiers indicateurs présentés seront ceux en lien avec l'évaluation de la biodiversité en général, puis les indicateurs couvrant différents types de faune et flore seront détaillés. Enfin, un indicateur de la méthode MASC 2.0 sera traité seul en fin de présentation, ne pouvant être comparé à des indicateurs issus d'autres méthodes.

Les analyses de ces méthodes suivront le même ordre d'interprétation : **les méthodes seront comparées entres elles par système**, afin de voir si elles concordent sur leur évaluation ; **les éventuelles différences de résultats du système BIO entre paysage singulier et homogène seront présentées ; la comparaison des systèmes aura ensuite lieu** à l'aide de l'ensemble des méthodes ; enfin, **les variations interannuelles seront explicitées.**

Les différences interannuelles observables au niveau des résultats des méthodes seront brièvement explicitées, mais des tableaux sont présents en Annexe III pour détailler leur description et la cause de ces variations.

#### a) Indicateurs permettant d'évaluer la biodiversité globale

Les indicateurs présentés dans les tableaux 6 et 7 évaluent la biodiversité dans son ensemble, faune et flore confondues. Ils sont les indicateurs les plus agrégés des méthodes MASC 2.0 et des versions de DEXiPM, et ils représentent le niveau d'information le plus synthétique.

**Les deux versions de DEXiPM, à quelques variations annuelles près, donnent des résultats très proches.** Excepté pour le système MACH, la méthode MASC 2.0 a tendance à être plus sévère dans les évaluations qu'elle délivre, en donnant notamment la note minimale aux systèmes RAIS et INT. MACH est donc le seul système pour lequel les trois méthodes sont dans des gammes de valeurs proches.

Le tableau 8 présente les résultats des méthodes pour le système BIO, en uniformisant le contexte paysager avec les autres systèmes. Seule la version 2 de DEXiPM apparaît comme étant sensible à l'uniformisation du contexte paysager, avec une conséquence importante sur la note globale, diminuée de deux points. Nous verrons par le détail des indicateurs suivants d'où vient ce contraste important. Pour DEXiPM V1, la note globale reste inchangée entre le paysage singulier ou homogénéisé avec les autres systèmes. Ce constat réalisé au niveau de l'indicateur le plus agrégé est vrai pour tous les indicateurs rentrant dans son calcul, quelle que soit l'année. Ainsi, pour la méthode DEXiPM V1, un seul résultat sera présenté à chaque fois, les sorties de la méthode étant

**Tableau 9 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels et insectes volants – systèmes RAIS et INT**

Année	RAIS				INT			
	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Critère	Potentiel Syrphe	Insectes volants	Ennemis naturels volants	Ennemis naturels volants	Potentiel Syrphe	Insectes volants	Ennemis naturels volants	Ennemis naturels volants
2009	2/5	3/4	2/4	3/5	3/5	3/4	3/4	4/5
2010	2/5	3/4	2/4	2/5	3/5	3/4	3/4	3/5
2011	2/5	1/4	1/4	2/5	3/5	2/4	1/4	4/5

**Tableau 10 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels et insectes volants – systèmes MACH et BIO**

Année	MACH				BIO				
	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DRXiPM V2	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2 *
Critère	Potentiel Syrphe	Insectes volants	Ennemis naturels volants	Ennemis naturels volants	Potentiel Syrphe	Insectes volants	Ennemis naturels volants	Ennemis naturels volants	Ennemis naturels volants
2009	2/5	1/4	1/4	2/5	3/5	4/4	4/4	5/5	4/5
2010	2/5	2/4	2/4	2/5	3/5	4/4	4/4	5/5	4/5
2011	2/5	2/4	1/4	2/5	3/5	4/4	4/4	5/5	4/5

**Légende**

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée

\* même paysage que les autres SdC

strictement les mêmes pour le contexte paysagé réel ou homogénéisé avec les autres systèmes, pour tous ses indicateurs.

**Malgré les évaluations plus sévères de la méthode MASC 2.0, les systèmes semblent se classer selon le gradient d'intensification souligné lors de l'analyse des indicateurs de cause.**

Le tableau 21 en Annexe III détaille les variations interannuelles des différents indicateurs. **Le système BIO ne présente aucune variation interannuelle.** En effet, la majeure partie des variations interannuelles sont dues à des modifications des IFT. Il est intéressant de constater qu'en ce qui concerne les systèmes RAIS et INT, la version DEXiPM V2 ne capte pas l'impact des IFT insecticides au contraire de la première version de cette méthode, très marquée par les augmentations de recours aux insecticides. En effet, DEXiPM V2 accorde une part importante à la flore, qui selon le modèle est capable de compenser ces perturbations. Cette importance de la flore dans la construction de ce modèle a notamment pu se révéler en ce qui concerne la variation de 2010 pour le système INT : la diminution de la qualité de la flore adventice a eu impact qui s'est retrouvé tout le long de la chaîne d'agrégation jusqu'à l'indicateur « Biodiversité » final.

#### **b) Indicateurs ennemis naturels/volants/insectes volants**

Les indicateurs présentés dans les tableaux 9 et 10 ont pour point commun d'évaluer la faune aérienne, décrite dans les méthodes grâce aux indicateurs « Ennemis naturels volants » des deux versions de DEXiPM, à l'indicateur « Potentiel syrphé » d'Auximore et l'indicateur « Insectes volants » de MASC 2.0.

Il existe une **bonne cohérence entre les quatre méthodes**, même si quelques nuances peuvent être émises :

- La méthode MASC 2.0 attribue une note plus élevée que les modèles DEXiPM et Auximore au système RAIS, le jugeant autant favorable que le système INT sur les ennemis naturels et insectes volants ;
- Là où les autres méthodes et modèles déterminent un gradient du système le plus favorable au moins favorable, c.-à-d. BIO/INT/RAIS/MACH, Auximore ne distingue que deux groupes : les systèmes BIO et INT comme moyennement favorable et les systèmes RAIS et MACH comme faiblement favorables. L'évaluation réalisée par Auximore est donc moins fine que celle réalisée avec les autres modèles. Enfin, cette méthode, bien qu'attribuant une meilleure note aux systèmes INT et BIO, évalue cependant plus sévèrement ces systèmes que les autres méthodes (bien que pour le système INT la différence entre Auximore et les autres méthodes soit plus ténue).

En ce qui concerne la méthode DEXiPM V2 et le système BIO, **l'uniformisation du paysage a peu d'effet sur la note attribuée à ce système.** En uniformisant le paysage, ce modèle capte essentiellement l'effet des pratiques : selon ce modèle **la conduite en AB est favorable aux ennemis naturels volants.**

En prenant l'ensemble de ces différentes méthodes, **le gradient observé en terme de système favorable aux insectes volants se retrouve** avec le système BIO, suivi du système INT et enfin des systèmes RAIS/MACH. Ces résultats confirment en partie l'hypothèse quant au gradient d'impact sur la biodiversité. Les résultats de MASC 2.0 ne suivent cependant pas du tout ce gradient. La méthode, peu sensible à l'IFT insecticide, ne fait pas de différence entre les systèmes RAIS et INT, qui seraient donc intermédiaires entre les systèmes BIO et MACH.

Il existe des variations interannuelles pour l'ensemble des méthodes et modèles excepté Auximore. Certaines de ces variations se retrouvent sur plusieurs années/méthodes, tandis que d'autres sont plus singulières. Le tableau 22 en Annexe III les détaille. **Une des causes de ces variations**

**Tableau 11 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et de la macrofaune du sol – systèmes RAIS et INT**

Année	RAIS				INT			
	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2
Critère	Macrofaune du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels rampants	Macrofaune du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels rampants
2009	2/4	3/4	2/5	4/5	2/4	3/4	4/5	4/5
2010	2/4	3/4	4/5	4/5	2/4	3/4	3/5	4/5
2011	2/4	3/4	2/5	4/5	2/4	3/4	3/5	4/5

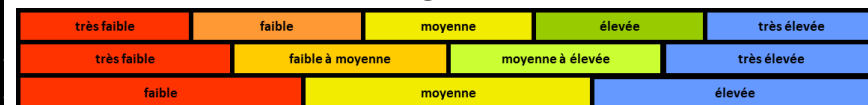
**Tableau 12 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et de la macrofaune du sol – systèmes MACH et BIO**

Année	MACH				BIO			
	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2
Critère	Macrofaune du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels rampants	Macrofaune du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels rampants
2009	3/4	4/4	4/5	3/5	2/4	3/4	4/5	4/5
2010	3/4	4/4	4/5	3/5	2/4	3/4	4/5	4/5
2011	3/4	4/4	4/5	3/5	2/4	3/4	4/5	4/5

**Tableau 13 : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation des ennemis naturels rampants et ceux du sol : impact du contexte paysager du système BIO**

Année	BIO			
	DEXiPM V2	DEXiPM V2 *	DEXiPM V2	DEXiPM V2 *
Critère	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels du sol	Ennemis naturels rampants	Ennemis naturels rampants
2009	4/5	4/5	4/5	2/5
2010	4/5	4/5	4/5	2/5
2011	4/5	4/5	4/5	2/5

**Légende**



\* même paysage que les autres SdC



**interannuelles est l'IFT insecticides**, de par les effets des traitements sur les groupes non-cibles. Cette importance de l'utilisation de moyens de lutte chimique contre les ravageurs est seulement notée seulement dans DEXiPM V1 et MASC 2.0. **La seconde raison de ces variations est la modification de la flore**, qu'elle soit cultivée (critère de diversité des familles cultivées chez MASC 2.0) ou associée (flore adventice/semi-naturelle). Pour DEXiPM V2, la flore joue un rôle particulièrement important car elle est jugée capable de compenser les effets délétères des produits phytosanitaires. De plus, les changements interannuels de cette méthode sont avant tout liés à des modifications au niveau de la flore, par utilisation plus importante d'herbicides ou de travail du sol. Ainsi les variations interannuelles observées sont dépendantes de la construction des méthodes ou modèles mais restent cohérentes avec les systèmes étudiés.

### c) **Ennemis naturels rampants/Ennemis naturels du sol**

Cette partie comparera les indicateurs regroupant la faune du sol, qu'elle évolue à la surface ou dans le sol. Pour MASC 2.0, la macrofaune du sol « regroupe l'ensemble des animaux vivants dans le sol et dont la taille est supérieure à 2 mm (mille-pattes, vers de terre, nombreux insectes et leurs larves...) » (Craheix *et al.*, 2011). Pour le modèle DEXiPM V2, les « Ennemis naturels du sol » sont liés à la parcelle et n'ont pas la capacité de quitter ce milieu. Pour cette même méthode, les « Ennemis naturels rampants » sont des organismes plus mobiles capables de se déplacer entre la parcelle et des éléments semi-naturels (Demade, 2014). La version DEXiPM V1 ne présente qu'un seul indicateur, « Ennemis naturels du sol », qui comme pour la version DEXiPM V2 cherche à représenter les organismes inféodés à la parcelle (Frédérique Angevin, *com. pers.*).

Les tableaux 11 et 12 détaillent le résultat des indicateurs. **La méthode MASC 2.0 est plus sévère que DEXiPM V1 pour les systèmes RAIS, INT et BIO, et plus sévère que DEXiPM V2 pour les systèmes INT et BIO.** Pour le système RAIS, DEXiPM V2 est aussi sévère que MASC 2.0 en ce qui concerne les ennemis naturels du sol. Pour le système MACH au contraire, les trois méthodes sont proches pour les ennemis naturels du sol, bien que seul l'indicateur de DEXiPM V1 prenne une valeur maximale. Pour les ennemis naturels rampants, le modèle DEXiPM V2 est un cran en dessous.

**Le fait que les indicateurs « Ennemis naturels du sol » ne concordent pas entre versions de DEXiPM est lié à leur construction.** L'indicateur de DEXiPM V1 est sensible au labour, aux IFT insecticides et fongicides, et enfin aux habitats semi-naturels. L'indicateur de DEXiPM V2, quant à lui, est sensible à l'IFT total, à l'intensité du labour, à la fertilisation et à la qualité de la flore adventice. Le fait qu'avec la deuxième version l'IFT soit considéré dans sa totalité et que la fertilisation soit prise en compte permet d'intégrer de manière plus précise les facteurs d'intensification des systèmes RAIS et INT qui apparaissent donc moins favorables à cette catégorie de biodiversité.

Le tableau 13 détaille les valeurs prises par les indicateurs « Ennemis naturels rampants » et « Ennemis naturels du sol » du modèle DEXiPM V2 avec le paysage réel du système BIO, ou homogénéisé avec les trois autres systèmes.

Premièrement, **l'indicateur « Ennemis naturels du sol » n'est pas influencé par les données en lien avec le paysage** du système car la note ne varie pas entre les deux simulations. En effet, tel que précisé dans l'introduction de cette partie, ces organismes sont principalement sensibles aux conditions très locales, car inféodés à la parcelle selon la méthode.

En ce qui concerne l'indicateur « Ennemis naturels rampants », une différence marquante entre les deux résultats existe. Sans l'effet du paysage favorable, DEXiPM V2 capte uniquement l'effet des pratiques agricoles, qu'il juge délétère pour ce type de biodiversité. En effet, les nombreux passages d'outils de désherbage mécanique peuvent avoir un effet important sur des organismes tels que les

**Tableau 14 : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la flore adventice – systèmes RAIS et INT**

Système	RAIS		INT	
	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Critère	Adventices	Balance optimale en adventices	Adventices	Balance optimale en adventices
2009	2/4	3/5	2/4	3/5
2010	1/4	3/5	2/4	2/5
2011	1/4	3/5	2/4	4/5

**Tableau 15 : Résultats des versions du modèle DEXiPM pour l'évaluation de la flore adventice – systèmes MACH et BIO**

Année	MACH		BIO	
	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V1	DEXiPM V2 DEXiPM V2 *
Critère	Adventices	Balance optimale en adventices	Adventices	Balance optimale en adventices
2009	1/4	4/5	4/4	3/5
2010	1/4	4/5	4/4	3/5
2011	1/4	4/5	4/4	3/5

***Légende***

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée

\* même paysage que les autres SdC

carabes. Cette tendance ne se retrouve pas au niveau de l'indicateur « Ennemis naturels du sol » car le travail du sol a beaucoup moins de poids par rapport aux indicateurs renseignant la pression et produits phytosanitaires et fertilisants. Le résultat élevé pour l'indicateur « Ennemis naturels rampants » avec le contexte paysager uniformisé démontre que **pour ce modèle la qualité du paysage peut compenser les perturbations au sein des parcelles**. Le modèle assume donc que ces organismes ont une capacité de dispersion suffisante pour coloniser les parcelles depuis des éléments extérieurs.

Les variations interannuelles sont moins nombreuses pour ces indicateurs que pour ceux précédemment étudiés. Le tableau 23 en Annexe III détaille ces variations. **Les variations annuelles sont dues à l'utilisation de produits phytosanitaires et à la fertilisation. Elles n'impactent que l'indicateur « Ennemis naturels du sol » de DEXiPM V2** car selon cette méthode ces organismes peu mobiles sont principalement sensibles à ce genre de stress.

**Les différences entre systèmes apparaissent moins marquées** sur cette évaluation comparée à l'évaluation précédente des insectes volants. Le système RAIS semblerait être le système globalement le moins favorable. Le système INT et BIO sont à peu près au même niveau, tandis que le système MACH, serait le plus favorable. Sur ces indicateurs donc, le gradient d'intensification est différent de ce qui a été observé auparavant.

#### **d) Flore Adventice**

Les tableaux 14 et 15 présentent les résultats des deux indicateurs en lien avec la flore adventices. Les deux versions de DEXiPM montrent des résultats divergents en fonction des systèmes. DEXiPM V2 évalue les systèmes RAIS et MACH comme plutôt favorables tandis que DEXiPM V1 délivre une mauvaise évaluation sur ces systèmes. Pour le système INT, la différence est moins marquée en raison de nombreuses variations de l'indicateur de DEXiPM V2. Enfin pour le système BIO la méthode DEXiPM V2 est légèrement moins favorable que pour la V1.

**Les versions de DEXiPM aboutissent donc à des résultats très différents qui ne sont pas cohérents entre eux.** DEXiPM V2 ne parvient pas à différencier les systèmes RAIS/INT/BIO, et place le système MACH comme plus favorable. Ces hautes valeurs posent question. En effet, le système MACH est caractérisé par d'importants IFT herbicide, et n'est donc pas supposé être le système favorisant le plus la flore non planifiée (hors culture et couvert), à savoir la flore adventice ou semi-naturelle. Pour comprendre ce classement, il faudrait reprendre la définition du concept de « Balance optimale en adventices » de la version 2 de DEXiPM. L'indicateur « Balance optimale en adventices » a pour but de représenter le meilleur équilibre entre qualité de la flore adventice pour la faune et concurrence avec la culture (Demade, 2014). Ainsi, deux résultats moyens pourraient avoir deux origines différentes, par exemple :

- Le système BIO aurait une flore adventice très favorable à la faune (diversité des adventices élevées) mais présentant une forte compétition avec la culture (abondance optimum des adventices faible) ;
- Le système RAIS aurait quant lui à une flore moins favorable (diversité des adventices moyenne) mais mieux maîtrisée (abondance optimum moyenne).

Cependant, dans les faits l'abondance optimum et la diversité des adventices est la même pour les trois systèmes RAIS/INT/BIO. La seule différence entre ces systèmes et le système MACH est que pour ce dernier la diversité des adventices est supérieure aux autres.

Au contraire, DEXiPM V1 délivre le classement suivant, du plus favorable au moins favorable : le système BIO, suivi du INT, et enfin les systèmes RAIS/MACH. Ce classement suit le recours aux herbicides. La note maximale pour le système BIO est discutable dans la mesure où de nombreux

**Tableau 16 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la flore naturelle/semi-naturelle – systèmes RAIS et INT**

Année	RAIS			INT		
	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Critère	Conservation de la flore	Flore naturelle/ semi-naturelle	Statut de la flore semi-naturelle	Conservation de la flore	Flore naturelle/ semi-naturelle	Statut de la flore semi-naturelle
2009	2/4	2/4	3/5	2/4	2/4	3/5
2010	2/4	2/4	2/5	2/4	2/4	3/5
2011	1/4	2/4	2/5	2/4	2/4	3/5

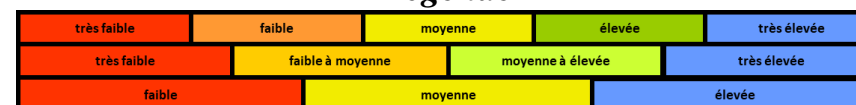
**Tableau 17 : Résultats des méthodes DEXi pour l'évaluation de la flore naturelle/semi-naturelle – systèmes MACH et BIO**

Année	MACH			BIO			
	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	DEXiPM V2 *
Critère	Conservation de la flore	Flore naturelle/ semi-naturelle	Statut de la flore semi-naturelle	Conservation de la flore	Flore naturelle/ semi-naturelle	Statut de la flore semi-naturelle	Statut de la flore semi-naturelle
2009	2/4	2/4	2/5	3/4	4/4	5/5	3/5
2010	2/4	2/4	2/5	3/4	4/4	5/5	3/5
2011	2/4	2/4	2/5	3/4	4/4	5/5	3/5

**Tableau 18 : Résultats de l'indicateur "Conservation des micro-organismes du sol" - Modèle MASC 2.0**

Méthode	MASC 2.0			
	Conservation des micro-organismes du sol			
Système	RAIS	INT	MACH	BIO
2009	2/4	2/4	2/4	3/4
2010	2/4	2/4	2/4	3/4
2011	1/4	2/4	2/4	3/4

**Légende**



\* même paysage que les autres SdC

dés herbages mécaniques ont tout de même lieu. Cet indicateur est cependant très sensible au labour, qui n'est pas systématique pour le système BIO du fait de deux ans de luzerne dans la rotation de six ans au total.

Le tableau 24 en Annexe III détaille les variations interannuelles des indicateurs évaluant la flore adventice. En ce qui concerne la méthode DEXiPM V2, seul le système INT présente des variations interannuelles mais celles-ci sont fortement marquées. Les variations observées sont liées aux variations d'utilisation d'herbicides et de dés herbage mécanique, ce qui est cohérent avec les systèmes et le type de biodiversité considéré.

#### e) Flore naturelle/semi-naturelle

Les tableaux 16 et 17 présentent les résultats pour les indicateurs évaluant la flore naturelle/semi-naturelle. Les trois différentes méthodes donnent des résultats assez convergents sur les systèmes RAIS, INT et MACH. En ce qui concerne le système BIO, DEXiPM V1 et V2 donnent des notes maximales, au contraire de MASC 2.0, un peu plus sévère dans l'évaluation de ce type de biodiversité.

En ce qui concerne DEXiPM V2, la qualité du paysage à un poids important comme en témoigne l'écart des résultats pour cette méthode en fonction du contexte paysager du système BIO. En effet, pour cette méthode la flore semi-naturelle est avant tout rattachée au paysage et est moins impactée par les perturbations au sein de la parcelle. Finalement, l'indicateur de MASC 2.0 pour le système BIO est un intermédiaire entre les résultats de DEXiPM V2 en fonction des contextes paysagers réel ou homogénéisé.

**Les méthodes sont assez cohérentes entre elles dans l'évaluation réalisée.** Ainsi, le système BIO serait le plus favorable, viendrait ensuite le système INT et enfin les systèmes MACH et RAIS. A noter que pour la méthode DEXiPM V2 et à paysage égal, les systèmes INT et BIO sont jugés autant favorables l'un que l'autre pour la flore semi-naturelle.

Le tableau 25 en Annexe III détaille les deux variations interannuelles existantes pour le système RAIS. Ces variations sont dues à l'utilisation d'herbicides, ce qui est cohérent avec la catégorie de biodiversité évaluée par ces indicateurs.

#### f) Cas particulier : indicateurs micro-organismes du sol MASC 2.0

L'indicateur « Conservation des micro-organismes du sol » n'est présent que dans la méthode MASC 2.0, ainsi l'analyse portera seulement sur la comparaison des systèmes. Le tableau 18 présente les résultats de cet indicateur.

**Le système BIO apparaît comme le meilleur système en termes de conservation des micro-organismes du sol, cet indicateur ne distinguant pas les systèmes RAIS/INT/MACH.** Ce dernier point pose problème, les micro-organismes du sol pouvant être influencés par l'utilisation de produits phytosanitaires ou le travail du sol. Les intensités de ces perturbations variant entre les systèmes, il aurait été prévisible que cet indicateur puisse distinguer ces trois systèmes.

La note plus faible en 2011 pour le système RAIS est due à une baisse de la diversité des familles cultivées.

#### g) Synthèse des résultats

Le tableau 19 présente les conclusions générales des comparaisons des méthodes et des systèmes en ce qui concerne les méthodes DEXi.

Tableau 19 : Conclusions générales de la comparaison des méthodes et des systèmes

Indicateurs	Comparaison des méthodes				Comparaison des systèmes			
	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2	Auximore	MASC 2.0	DEXiPM V1	DEXiPM V2
Biodiversité générale		Incohérence excepté pour système MACH	Bonne cohérence			Ne reflète pas le gradient	Cohérence avec le gradient mis en évidence	
Insectes volants Ennemis naturels volants	Classement plus grossier que les DEXiPM	Incohérence seulement pour système RAIS	Bonne cohérence		Sépare les systèmes en deux groupes	Met à égalité systèmes RAIS et INT	Cohérence avec le gradient mis en évidence	
Ennemis naturels rampants/du sol Macrofaune du sol		Incohérence excepté pour système MACH	Bonne cohérence			Distingue système MACH mais les trois autres systèmes à égalité	Gradient en cohérence avec le type de biodiversité évalué (travail du sol)	
Flore adventice			Résultats divergents exceptés pour le système INT				Gradient cohérent	Gradient incohérent
Flore naturelle/semi-naturelle		Bonne cohérence				Distingue système BIO mais les trois autres systèmes à égalité		
Micro-organismes du sol						Distingue système BIO mais les trois autres systèmes à égalité		

**Les résultats montrent une bonne convergence des versions de DEXiPM. La méthode Auximore, distingue seulement deux groupes de systèmes** (INT/BIO en moyennement favorable, et RAIS/MACH en faiblement favorable). En cela elle réalise une évaluation moins fine que les DEXiPM. Enfin, **la méthode MASC 2.0 a présenté de nombreux « décrochages »**, ne suivant pas les résultats des autres méthodes d'évaluation.

La baisse de la note de l'indicateur « Biodiversité » de DEXiPM V2 du système BIO pour le paysage uniformisé vient donc des indicateurs « Ennemis naturels rampants » et « Flore naturelle/semi-naturelle ». En effet, en ce qui concerne cette première catégorie de biodiversité, l'important travail du sol est néfaste pour ces organismes, et la faible qualité du paysage ne permet pas de compenser ces effets négatifs. En ce qui concerne la flore semi-naturelle, celle-ci est influencée avant tout par des éléments paysagers, ce qui explique la dégradation de la note avec la baisse de qualité du paysage.

En ce qui concerne la comparaison des systèmes, **le gradient d'intensification des systèmes révélés par les indicateurs de cause a pu être observé notamment au niveau des versions de DEXiPM**, en fonction de la catégorie de biodiversité étudiée. En effet, MASC 2.0 n'arrive pas à discriminer tous les systèmes sur des indicateurs ou des différences franches sont observées avec DEXiPM V1 et V2. Il existe cependant un manque de consensus de ces versions de DEXiPM quant à l'évaluation de la flore adventice, qui tient une place importante dans la construction de la version 2.

Les résultats ayant été présentés, nous allons maintenant discuter ces résultats afin :

- d'apporter un regard critique notamment sur les biais amenés par les choix de sélection des méthodes ;
- d'approfondir l'interprétation des résultats ;
- de proposer des pistes pour l'intégration d'une partie des indicateurs calculés à Systerre ®
- de cerner les manques et les perspectives de cette étude afin de proposer des éléments quant à sa poursuite.

## 6. Discussion

L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence des différences et convergences entre les méthodes sélectionnées. Cependant le choix de ces méthodes est une étape ayant pu amener des biais quant à l'expression globale des résultats. L'évaluation annuelle des SdC peut aussi présenter des problèmes méthodologiques, dans la mesure où selon Sebillotte, 1990, un SdC est une « séquence pluriannuelle de cultures ». Ces points seront discutés. Ensuite, nous reviendrons sur les résultats des indicateurs afin de discuter de leur pertinence globale. A l'aide de ces éléments et en prenant aussi en compte des éléments tels que les critères d'entrées nécessaires à leur calcul, la faisabilité de l'intégration d'indicateurs de biodiversité à Systerre ® sera étudiée.

### 6.1 Le choix restreint des méthodes

Une sélection de méthodes à calculer parmi les méthodes recensées a été nécessaire du fait du temps limité du stage de fin d'études. Ce choix restreint des méthodes et des calculs à réaliser a pu amener certains biais dans le regard porté sur l'évaluation de la biodiversité et des SE.

Tout d'abord, en ce qui concerne le recensement de la biodiversité, nous avons décidé d'exclure la biodiversité planifiée et associée extra-agricole, et de se concentrer sur la biodiversité auxiliaires et donc sur l'évaluation de groupes fonctionnels. Cependant, **des enjeux de conservation sont bel et bien présents en ce qui concerne la biodiversité planifiée** telles que préservation de variétés ou





de races ou l'association de variétés ou de cultures dans un même paysage pur augmenter la résilience des écosystèmes<sup>23</sup>. Cette description de la biodiversité sous l'angle fonctionnelle peut montrer ses limites, en recouvrant des organismes à l'écologie très variée. Les indicateurs en lien avec les « ennemis naturels » présentent notamment ce biais.

La faisabilité de l'obtention des calculateurs a aussi centré l'étude sur des méthodes françaises. Des indicateurs issus de méthodes SALCA (suisse) ou MODAM (allemande) auraient pu être intégrés à l'étude, cependant la première n'était pas accessible dans le temps du stage et la seconde nécessitait d'importantes transformations mathématiques. Enfin, les autres méthodes étrangères recensées réalisent pour la majorité des évaluations à l'échelle nationale. Ces méthodes comprennent des espèces ou groupes présentant un enjeu de conservation. Il sera donc important, pour la suite de l'étude, de recenser des **méthodes internationales** et évaluant des catégories plus larges de biodiversité, notamment de biodiversité planifiée.

Enfin, le parti pris du calcul de ces indicateurs sur la station expérimentale de Boigneville pose des questions de méthodologie, quant à « l'effet site » dans le résultat pris par les indicateurs (parcelles proches les unes des autres, sans variation de contexte agropédoclimatique). Ainsi, il faut considérer le travail présenté dans ce mémoire comme une étude préliminaire proposant une première analyse et comparaison des méthodes sélectionnées, qui sera à poursuivre notamment en **comparant des sites entre eux**. Cette approche comparative de méthode permettant l'évaluation de la biodiversité reste cependant originale, de tels travaux ayant été principalement réalisés sur d'autres domaines (Reus *et al.*, 2002).

## 6.2 Calcul annuel pour l'évaluation de SdC

La méthode MASC 2.0 et les deux modèles DEXiPM ont été conçus afin d'évaluer des SdC dans le sens d'une séquence pluriannuelle de culture. Les évaluations annuelles réalisées dans le cadre de cette étude pourraient donc être considérée comme invalide, cependant :

- Pour les essais systèmes menés sur la station expérimentale de Boigneville de l'institut Arvalis, tous les termes de la rotation sont présents chaque année. Ainsi, l'ensemble de la rotation était évaluable chaque année, les données étant disponibles pour chaque terme de la rotation ;
- La démarche était avant tout « exploratoire », et a finalement fourni des résultats intéressants. En effet, cela a permis de mettre en évidence les sensibilités des différentes méthodes sur certains facteurs d'intensification. Ces sensibilités étant parfois propres à une méthode. De plus, cela a mis en évidence l'existence de compensation dans le modèle de DEXiPM V2, qui est un élément crucial de sa construction et en fait son originalité ;
- Enfin, cela a pu montrer que l'effet des pratiques pour un même système peut varier en fonction des années, comme cela a été le cas en 2011 avec une pression en nuisibles plus élevées. Cette pression a abouti à un recours plus important aux insecticides qui pour certaines méthodes aboutit à des effets négatifs sur la biodiversité évaluée.

Ainsi, dans le cas de cette étude, **il est considéré que ce biais méthodologique n'invalide pas les résultats obtenus.**

## 6.3 Discussion des résultats

Cette partie a pour objectif de discuter des résultats des indicateurs afin d'éprouver leur fiabilité et donc de vérifier l'intérêt potentiel de leur intégration à Systerre ®. Cette faisabilité de l'intégration sera discutée dans la partie suivante.

---

<sup>23</sup> Voir le glossaire.

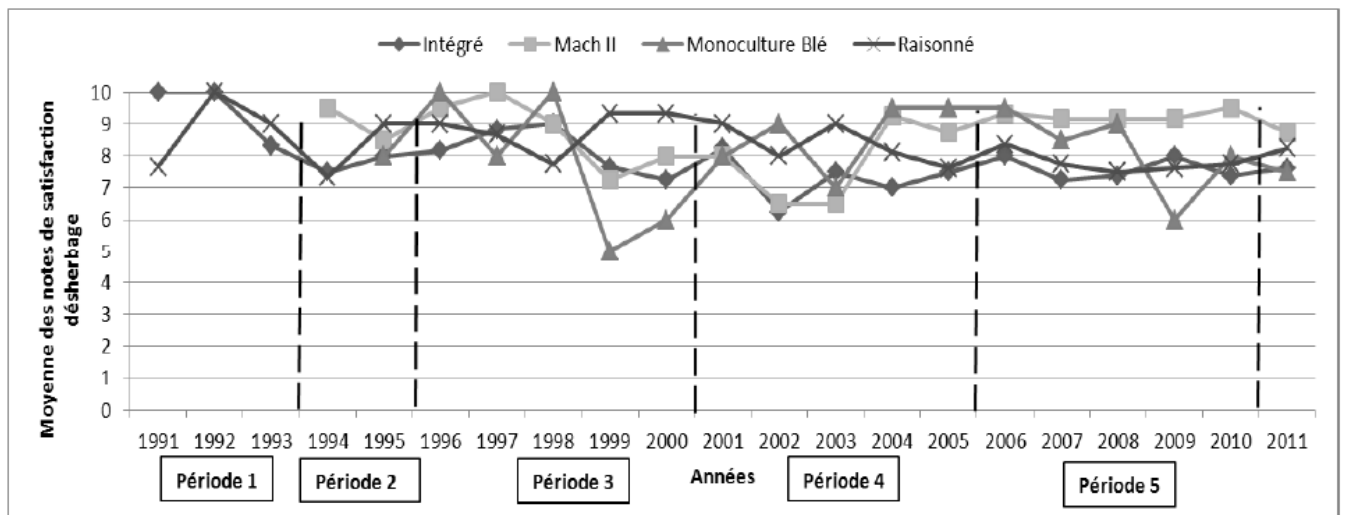


Figure 10 : Moyenne des notes d'efficacité de désherbage en sol superficiel de différents systèmes, d'après Pottier *et al.* (2013)

**La méthode Auximore présente une faible sensibilité**, et ne permet pas de réellement distinguer les systèmes étudiés. Or c'est cette capacité de différenciation qui est recherché dans cette étude ; cette méthode serait donc à écarter.

La sévérité de la méthode MASC 2.0 au niveau de l'évaluation globale par rapport aux autres méthodes pose problème pour la comparaison des différents systèmes. Cette sévérité ne permet pas toujours de comparer les systèmes entre eux, ne permettant pas de mise en évidence de différence, tandis que dans ces cas d'autres méthodes montrent des différences cohérentes avec la description des systèmes. De plus, cette méthode est apparue comme peu sensible aux IFT, ne permettant pas de comparer les systèmes RAIS et INT. Par exemple, l'indicateur « Insectes volants » a la même note pour les deux systèmes. Ceci est discutable, dans la mesure où il est admis que cette catégorie de la biodiversité est sensible aux insecticides (Speight *et al.*, 2000 in Jean *et al.*, 2011). Or au moins en 2009 et 2010 aucun insecticide n'a été utilisé dans le système INT, au contraire du système RAIS. Ce manque de sensibilité s'est aussi manifesté au niveau de l'indicateur « Conservation des micro-organismes du sol ». A cause de ces éléments, **la méthode MASC 2.0 ne suit globalement pas les tendances dessinées par les autres méthodes**. Son utilisation pose donc problème, les résultats ne semblant pas cohérents. Il est cependant important de rappeler que cette méthode est la plus ancienne des méthodes DEXi analysées dans ce mémoire et a fait l'objet d'une expertise plus limitée sur la partie biodiversité. Ce constat a motivé les efforts d'amélioration qui ont permis d'aboutir à la branche biodiversité du modèle DEXiPM et la valide en partie.

Les deux versions de DEXiPM ne sont cependant pas exemptes de résultats critiquables. **Les valeurs de l'indicateur de flore adventice de la méthode DEXiPM V2 pour le système MACH posent question**. En effet, le poids attribué à la diversité et à l'abondance des adventices sont de 50 % chacun. La diversité des adventices est considérée comme favorisée par la réduction du travail du sol et l'absence de labour. L'importance de la flore dans le calcul des autres indicateurs, plusieurs fois soulignée dans l'analyse des résultats, peut transmettre l'incohérence de l'indicateur adventice au reste des calculs.

La figure 10 présente les notes d'efficacité de désherbage de quatre systèmes de la station, sur la période allant de 1991 à 2011. Une note de 10 correspond à une absence d'adventices au-dessus et en dessous de la culture, une note de 7 étant le point d'inflexion avant que la flore adventice ait des conséquences économiques sur la parcelle, ceci d'une année à l'autre (Pottier *et al.*, 2013).

Les valeurs des notes de désherbage sont proches de 9 pour le système MACH sur la période de l'étude. Ainsi, la flore adventice était en faible abondance, donc *a priori* peu favorable à la biodiversité. De plus, la forte utilisation d'herbicide a eu tendance à sélectionner une flore spécialisée, voir résistante, présentant peu de diversité (Catherine Vacher, *com. pers.*). Ceci va donc à l'encontre du résultat du modèle DEXiPM V2. Ce modèle est encore un prototype, ce qui explique que le modèle régissant le calcul de certains indicateurs soit améliorable. C'est cependant le seul indicateur pour lequel le modèle DEXiPM V2 présente une incohérence.

**DEXiPM V1 présente aussi des résultats surprenants en ce qui concerne l'évaluation de la flore adventice pour le système BIO**, où les notes pour la flore adventice et semi-naturelle sont maximales. Autant l'absence d'herbicide et d'impact des pratiques sur les éléments semi-naturels peuvent en effet n'avoir aucun impact sur la flore semi-naturelle, autant les nombreux désherbages mécaniques peuvent avoir des effets délétères sur la flore adventice. Cependant, les systèmes en AB ont tendance à avoir une pression d'adventices supérieures (Muneret *et al.*, 2018).

Les indicateurs de cause donnent une bonne estimation du classement des systèmes plus ou moins favorables à la biodiversité. **DEXiPM V1 et V2, malgré quelques écarts sur certains indicateurs, présentent la majeure partie du temps des résultats cohérents entre elles et avec les systèmes**

Tableau 20 : Récapitulatif des données nécessaires au calcul des indicateurs

	Systerre® - Brut	Systerre® - Transformé	QGIS	Google Earth Pro	Dire d'expert	Dire d'expert/Observation terrain
<b>Indicateurs de cause</b>	Moyenne kg N/ha/an Pourcentage SAU + de 150 kg N/ha/an Nombres de culture	Diversité des familles cultivées	Moyenne % surface semi-naturelles Diversité des habitats semi-naturels			
	50 %	17 %	33 %			
<b>DEXiPM V1</b>	Labour IFT insecticides, fongicides, herbicides Nombre de travaux superficiels du sol en interculture et dans la culture	Types de culture au sein de la rotation			Gestion de l'habitat Effet de la rotation sur les pollinisateurs Qualité de la gestion de l'habitat Intensification régionale Labour avec inversion des horizons	Proportion de zones non cultivées Connectivité des habitats Qualité de la flore de bords de champ
	40 %	7 %			33 %	20 %
<b>DEXiPM V2</b>	Nombre de travaux superficiels du sol en interculture et dans la culture Labour Diversité de la rotation IFT herbicides, herbicides à l'interculture, fongicides, insecticides, total Fertilisation N,P,K	Compétition de la culture pour les ressources IFT herbicides à spectre large	Proportion de terres cultivées dans le paysage	Largeur des bords de champ	Risque de dérives de pesticides dû au matériel Broyage ou traitement des bords de champ Labour avec inversion des horizons Couverture du sol à l'application de pesticides Stratégie de l'agriculteur/de l'agronome face aux adventices	Connectivité des éléments non perturbés dans le paysage Diversité végétale des bords de champ
	50 %	8.5 %	4 %	4 %	25 %	8.5 %

**étudiés.** Ainsi, les indicateurs de ces méthodes seraient à privilégier dans le cadre de calcul d'indicateurs évaluant *a priori* l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE.

La partie suivante détaillera la faisabilité de l'intégration de ces indicateurs à Systerre ®.

#### 6.4 Confrontation des indicateurs calculés à Systerre ®

La commande finale du stage était de proposer des indicateurs à intégrer à l'outil d'EMC inter-instituts, Systerre ®. Les indicateurs qui ont pu se démarquer dans la partie précédente, à savoir les indicateurs de cause de Billeter *et al.*, 2007 et les deux versions de DEXiPM sont donc les candidats pour cette intégration.

Tout d'abord, en termes de nombres de critères d'entrées, les indicateurs de cause nécessitent 6 données d'entrées, DEXiPM V1 15 et DEXiPM V2 24. Le tableau 20 détaille ces critères d'entrées:

- La colonne « **Systerre ® – Brut** » indique les données récupérables en l'état avec Systerre ®. Ce sont des données brutes comme par exemple des actions de labour dans l'itinéraire technique d'une parcelle ou des indicateurs calculés par Systerre ®, tels que l'apport d'azote par hectare ou les IFT insecticides ;
- La colonne « **Systerre ® – Transformé** » indique quant à elle des données présentes dans Systerre ® mais qu'il a fallu manipuler pour obtenir la donnée d'entrée nécessaire aux modèles. Par exemple, le calcul de l'IFT herbicides à spectre large impliquait de faire le tri des herbicides appliquer afin de conserver uniquement ceux nécessaires au calcul de l'indicateur ;
- Les colonnes « **QGIS** » et « **Google Earth Pro** » renseignent l'origine des quelques données en lien avec le paysage ;
- Enfin les colonnes « **Dire d'expert** » et « **Dire d'expert/ Observation de terrain** », indiquent les variables relevant plus de stratégies de conduite ou d'expertise et connaissance des systèmes évalués. Ce peut par exemple être des éléments peu accessibles dans Systerre ® comme la gestion des bandes enherbées. En effet, l'entrée des données dans Systerre ® se fait à l'échelle de la parcelle, l'outil permettant par la suite d'obtenir des indicateurs à différentes échelles (culture<sup>24</sup>, SdC, exploitation agricole par exemple). Il est possible de créer des « parcelles » représentant les aménagements semi-naturels pour saisir les pratiques en lien avec leur gestion, mais l'outil montre ses limites à ce niveau-là. Certaines de ces données peuvent être observées sur le terrain, comme la connectivité des éléments semi-naturels, mais sont suffisamment « simples » pour être renseignées par une personne ayant une bonne connaissance de son système.

Comme le montre le tableau 20, la majorité des données nécessaires au calcul des indicateurs sont déjà présentes dans Systerre ®. **Seule la méthode DEXiPM V1 ne nécessite pas un recours à un logiciel afin d'acquérir des données sur le paysage** : cette méthode serait à privilégier si l'utilisation de ce genre de logiciel est jugée trop contraignante. Les éléments en lien avec le paysage présents dans les autres méthodes sont cependant peu nombreux et peu sujets à des variations annuelles : ils pourraient donc être calculés en dehors de Systerre ®, et seuls les résultats seraient à rentrer dans l'outil.

Deux autres éléments pourraient guider la priorité quant aux indicateurs à intégrer :

- Tout d'abord **le nombre de données nécessaires**, élément qui **favoriserait les indicateurs de cause**. Ces indicateurs nécessiteraient cependant quelques données en lien avec le paysage, plus difficile à collecter. Il a été possible de vérifier la puissance explicative de ces indicateurs, qui se sont révélés être de bons éléments de prédiction dans notre cas, cependant

---

<sup>24</sup> Pour une même culture sur toute l'exploitation agricole.



le lien avec la biodiversité n'est pas évident. Ceci pourrait limiter leur compréhension et leur utilisation ;

- Ainsi, les méthodes DEXiPM seraient à favoriser car elles présentent des indicateurs plus « lisibles ». **Un des éléments en faveur de DEXiPM V2 est sa distinction des ennemis naturels du sol et de ceux rampants**, là où DEXiPM ne propose qu'un seul indicateur. De par cette distinction, la version 2 de DEXiPM renseigne plus finement les effets des pratiques des différents entre systèmes. Cependant le comportement de l'indicateur « Balance optimale en adventice » pose un frein à son intégration : il serait possible dans un premier d'ajouter à Systerre ® seulement les indicateurs en lien avec les ennemis naturels.

## 6.5 Suite de l'étude

Tout d'abord, il est important de rappeler que les résultats de cette étude n'ont été obtenus que pour un seul site avec ses conditions propres, et qu'**il est donc nécessaire de calculer ces indicateurs sur d'autres zones et de vérifier les résultats obtenus avec cette première étude**. Systerre ® contient des données de nombreux systèmes de différentes stations ou centre expérimentaux, de coopératives ou d'exploitations agricoles. Les possibilités pour poursuivre le travail effectué sont nombreuses, la contrainte étant de collecter les données non renseignées à l'heure actuelle dans Systerre ®.

En ce qui concerne l'étude d'autres méthodes ou indicateurs, **il semble important de pouvoir intégrer des indicateurs en lien avec la biodiversité planifiée à cette étude**. Cette biodiversité, en plus de présenter elle aussi des enjeux de préservation, peut rendre des services utiles aux productions agricoles, comme par exemple la lutte contre les adventices à l'aide de la diversification ou de l'allongement de la rotation. De plus, les choix quant aux SE à étudier et aux échelles de calcul des indicateurs ont centré le recensement des méthodes sur des SE évoluant sur des pas de temps très court et avec un lien direct aux cultures. **Des SE tels que la qualité de l'eau ou le stockage de gaz à effets de serre sont aujourd'hui mis en avant et à ce titre pourraient aussi être calculés**. Les méthodes utilisées dans ce stage étant toutes d'origines françaises, **il sera important de calculer des méthodes développées dans d'autres pays** pour étudier leur approche. De nombreuses sources sont possibles : SALCA (Jeanneret *et al.*, 2014), MODAM (Sattler *et al.*, 2010), Syrph the Net (Speight, 2012), ainsi que les méthodes identifiées dans le projet LIFE BioStandards (2017).

**Enfin, ces indicateurs de biodiversité et de SE ont été considérés seuls, or l'objectif est de les calculer en parallèle d'indicateurs technico-économique**. Une poursuite de l'étude pourrait confronter le résultat de ces indicateurs aux autres indicateurs issus de Systerre ® pour les systèmes déjà évalué pour la biodiversité, ou de réaliser une double évaluation d'autres SdC.





## Conclusion

L'objectif de cette étude était de mener une réflexion sur l'intégration d'indicateurs de biodiversité et de SE à l'outil Systerre<sup>®</sup> afin de permettre l'évaluation conjointe de performance agronomique, économique et environnementale via un outil accessible et utilisé par les conseillers et les agriculteurs.

Un recensement des méthodes permettant d'évaluer l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les SE a été réalisé et une partie de ces méthodes ont été choisies pour un calcul d'indicateurs appliqués à une situation réelle. Les résultats de ces indicateurs ont été discutés afin d'étudier les comportements des méthodes et la fiabilité des évaluations des SdC. Ces différentes étapes ont nourri une réflexion sur l'intégration des indicateurs calculés à l'outil Systerre<sup>®</sup>, le choix se basant sur la pertinence des résultats des indicateurs et sur la faisabilité de leur intégration.

De nombreuses méthodes permettent d'évaluer l'effet des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques. Les contextes d'utilisation sont cependant nombreux et variés, nécessitant un bon examen et une bonne connaissance des méthodes existantes afin de déterminer celles convenant aux besoins. Il s'avère que les indicateurs permettant d'évaluer les services écosystémiques sont moins nombreux, le recensement présenté étant loin de l'exhaustivité sur ce volet. En effet, d'autres indicateurs existent pour évaluer ces services mais souffrent globalement d'un manque de consensus au niveau de la communauté scientifique en ce qui concerne leur définition ou mécanisme, limitant l'utilisation de tels indicateurs.

Six méthodes ont été retenues pour un calcul d'indicateurs sur la station de Boigneville d'ARVALIS Institut du végétal : les indicateurs de cause de Billeter *et al.* (2007), des indicateurs prédictifs issus du programme EFESE et quatre méthodes basées sur une structure DEXi (Auximore, MASC 2.0 et deux versions du modèle DEXiPM). Il s'est avéré que les indicateurs de cause, malgré leur supposée faible puissance explicative, ont réalisé une bonne prédiction du gradient d'intensification existant entre les systèmes. Les indicateurs d'EFESE n'étant pas appliqués à l'échelle prévue pour leur calcul, ils n'ont pu être exploités dans cette étude. En ce qui concerne les quatre méthodes DEXi, les deux versions du modèle DEXiPM donnent des résultats globalement cohérents entre eux et avec les systèmes évalués. La méthode Auximore présente moins de finesse dans son évaluation. Enfin, la méthode MASC 2.0, plus ancienne et qui a bénéficié d'une moindre expertise sur la biodiversité a présenté des résultats divergents dans un certain nombre de cas.

**Les indicateurs candidats pour une possible intégration à des outils d'évaluation multicritère seraient donc les indicateurs de cause de Billeter *et al.* (2007) ainsi que les deux versions du modèles DEXiPM.** Différents critères peuvent guider la priorité d'intégration de ces indicateurs. Ainsi, si l'objectif est de minimiser le nombre de critères d'entrées, les indicateurs de cause seront à privilégier. Cependant ces indicateurs posent un problème de lisibilité, le lien avec l'effet des pratiques évaluées n'étant pas explicite. Si la collecte de données liées au paysage est considérée comme une contrainte, DEXiPM V1 sera le meilleur candidat. La méthode DEXiPM V2 quant à elle se démarque par une meilleure prise en compte des processus et serait donc à privilégier pour avoir une évaluation précise et complète. Cependant, il sera nécessaire d'améliorer l'indicateur « Balance optimale en adventices », car il présente des résultats incohérents avec les systèmes évalués et les données de terrain.

Dans les limites et le temps imparti du stage, nous n'avons travaillé quasiment que sur des méthodes françaises dont les indicateurs ont été calculés sur un seul ensemble paysager. Les résultats de cette étude sont donc à confirmer en élargissant le cadre du calcul à d'autres SdC et



productions, et à d'autres sites. L'approche comparative menée dans ce travail pourrait aussi s'enrichir de méthodes internationales.

Les indicateurs retenus pourront donc être intégrés à Systerre ® afin d'être utilisés dans un premier temps pour les activités de recherche et développement. Ceci permettrait d'étoffer l'étude réalisée, d'acquérir une meilleure expertise sur ces indicateurs et de développer l'outillage permettant la saisie des données manquantes à l'heure actuelle dans l'outil. Une fois ces indicateurs jugés suffisamment fiables, ils pourront être transférés aux métiers du conseil, afin d'ils puissent se saisir de cette évaluation de la mutliperformance et la délivrer auprès des agriculteurs. Les efforts de développement de tels indicateurs ou outils ainsi que leur transfert auprès des professionnels sont indispensables afin de lever les freins des changements de pratiques durables permettant la préservation de la biodiversité et la valorisation des services écosystémiques.



## Références Bibliographiques

- Agence française pour la biodiversité. s. d. « Les indicateurs | Indicateurs ONB ». Consulté le 28 mai 2018. <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/indicateurs/tous>.
- Arvalis Institut du végétal. 2011. « Arvalis Info - Janvier 2011 ». 18 pages.
- Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S. 2008. "Agri-Environmental Indicators to Assess Cropping and Farming Systems. A Review". *Agronomy for Sustainable Development* 28 (1): 139-49.
- Billeter R., Liira J., Bailey D., Bugter R., Arens P., Augenstein I., Aviron S., Baudry J., *et al.* 2007. "Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study: Biodiversity in European Agro-ecosystems". *Journal of Applied Ecology* 45 (1): 141-150. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2664.2007.01393.x>
- Bockstaller C., Lasserre-Joulin F., Slezack-Deschaumes S., Piutti S., Villerd J., Amiaud B., Plantureux S. 2011. "Assessing Biodiversity in Arable Farmland by Means of Indicators: An Overview". *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 18 (3): 137-44.
- Butler S. J., Brooks D., Feber R. E., Storkey J., Vickery J. A., Ken N. 2009. " A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity". *Journal of Applied Ecology* 46: 1154–1162.
- Chabert, A. 2015. « Modes d’emploi des arbres multicritères AuxiMore ». 60 pages.
- Chunn B., Lefebvre A., Eilers W. 2005. "Environmental Sustainability of Canadian Agriculture. Agri-Environmental Indicator Report Series. Report #2". Agriculture and Agri-Food, Canada. 220 pages.
- Clearwater R.L., Martin T., Hoppe T. 2016. "Environmental Sustainability of Canadian Agriculture. Agri-Environmental Indicators Report Series. Report #4". Agriculture and Agri-Food Canada. 245 pages.
- Clergue B., Amiaud B., Pervanchon F., Lasserre-Joulin F., Plantureux S. 2005. "Biodiversity: Function and Assessment in Agricultural Areas. A Review". *Agronomy for Sustainable Development* 25 (1): 1-15.
- CORINE land cover. s. d. " CORINE land cover - contents ". 163 pages.
- Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T. 2012. « MASC 2.0, un outil d’évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable ». *Innovations Agronomiques* 20: 35-48.
- Delbaere B., Nieto Serradilla A. 2004. "Environmental risks from agriculture in Europe: Locating environmental risk zones in Europe using agri-environmental indicators". 188 pages.
- Decourtye A., Gayraud M., Chabert A., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Henry M. 2014. « Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles ». *Innovations Agronomiques* 34: 19-33.
- Demade M. 2014. "How to assess biodiversity and ecosystem services in arable cropping systems using the multi-attribute model DEXiPM - Mémoire de fin d’étude". 27 pages, 8 annexes.
- European Environment Agency. 2010. " Assessing Biodiversity in Europe : The 2010 Report ". 64 pages.
- Flamant J.-C. 2010. « Une brève histoire des transformations de l’agriculture au 20<sup>e</sup> siècle ». *Mission Agrobiosciences*. 20 pages.
- France nature environnement. 2013. « IBEA : Un outil de diagnostic de l’impact des pratiques agricoles sur la biodiversité. Note scientifique ». 127 pages.



- Geffroy L. 2018. « Où sont passés les oiseaux des champs? » Consulté le 16/09/18. <https://lejournal.cnrs.fr/articles/ou-sont-passes-les-oiseaux-des-champs>.
- Guillou M., Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.-L. 2013. « Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement », 163 pages.
- Hallmann C. A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W. 2017. "More than 75 Percent Decline over 27 Years in Total Flying Insect Biomass in Protected Areas". *PLOS ONE* 12 (10): 21 pages.
- Jean A., Dor C., Maillet-Mezeray J. 2011. « Synthèse bibliographique sur l'écologie des Syrphidae. Projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures » : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». 28 pages.
- Jeanneret P., Baumgartner D. U., Knuchel R. H., Koch B., Gaillard G. 2014. "An Expert System for Integrating Biodiversity into Agricultural Life-Cycle Assessment". *Ecological Indicators* 46: 224-31.
- Jouy L. 2012. « Fiche outil Systerre ® ». 2 pages. <http://www.plage-evaluation.fr/webplage/images/stories/pdf/fichesysterre.pdf>.
- Karp S. D., Chaplin-Kramer R., Meehan T. D., Martin E. A., DeClerck F., Grab H., Gratton C., *et al.* 2018. "Crop Pests and Predators Exhibit Inconsistent Responses to Surrounding Landscape Composition". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (33): 8 pages. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>.
- Kuneman G., Fellus E. 2014. "Sustainability Performance Assesment 2.0 : Towards Consistent Measurement of Sustainability at Farm Level". 75 pages.
- Lairez J., Freschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I. 2015. « Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère ». Educagri Editions/Éditions Quae.
- Lasserre-Joulin J., Rouabah A., Villerd J., Noirtin B., Meiss H., Plantureux S. 2015. « Guide d'utilisation de Icarab : Indicateur de mesure de l'impact des pratiques agricoles et de gestion du paysage sur les populations de carabidae auxiliaires des cultures ». 17 pages.
- Lauber S. s. d. « Le projet d'indicateurs BioBio ». Consulté le 15 juin 2018. <http://www.biobio-indicator.org/indicators.php?l=3>.
- Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F. 2008. « Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France) ». 116 pages.
- LIFEBioStandards. 2017. « Biodiversity in standards and labels for the food sector. Baseline Report ». 45 pages.
- Maljean J.-F., Peeters A. 2001. « Conférence paneuropéenne à haut niveau sur l'agriculture et la biodiversité : vers une intégration de la diversité biologique et paysagère pour une agriculture durable ». 30 pages.
- Millenium Ecosystem Assesment. 2005. "Ecosystem and Human Well-Being. Summary for decision-makers". 25 pages.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. 2015. « Plan Ecophyto II ». 67 pages.
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. s. d. « Diagnostic de l'engagement d'une exploitation dans une démarche agro-écologique ». Consulté le 17 avril 2018. <http://www.diagagroeco.org/page/3/>.





- Muneret L., Mitchell M., Seufert V., Aviron S., Djoudi E. A., Pétilion J., Plantegenest M., Thiéry D., Rusch A. 2018. "Evidence That Organic Farming Promotes Pest Control". *Nature Sustainability* 1 (7): 361-68. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0102-4>.
- Muséum national d'Histoire naturelle. 2018. « Le printemps 2018 s'annonce silencieux dans les campagnes françaises ». <http://www.mnhn.fr/fr/recherche-expertise/actualites/printemps-2018-s-annonce-silencieux-campagnes-francaises>.
- Muséum national d'Histoire naturelle. s. d. « Plantes vasculaires ». Consulté le 29 mai 2018. <http://www.mnhn.fr/fr/collections/ensembles-collections/botanique/plantes-vasculaires>.
- ONU. 1992. "Convention on Biological Diversity". 30 pages.
- Pelzer E., Fortino G., Bockstaller C., Angevin F., Lamine C., Moonen C., Vasileiadis V.. 2012. "Assessing Innovative Cropping Systems with DEXiPM, a Qualitative Multi-Criteria Assessment Tool Derived from DEXi". *Ecological Indicators* 18: 171-82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.11.019>.
- Perspectives Agricoles. 2010. « Dossier Systèmes de Culture ». *Perspectives Agricoles* 372 : 28-32.
- Pottier M., Toque C., Vacher C., Gautellier-Vizioz L., Jouy L., Duyme F. 2013. « Maîtrise de la flore adventice dans l'essai système « Fermes de Boigneville » : méthodologie et premiers résultats de l'analyse de 20 ans ». *22e conférence du Columa*. 10 pages.
- Reus J., Leendertse P., Bockstaller C., Fomsgaard I., Gutsche V., Lewis K., Nilsson C. 2002. "Comparison and Evaluation of Eight Pesticide Environmental Risk Indicators Developed in Europe and Recommendations for Future Use". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90 (2): 177-87. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00197-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00197-9).
- Sadok W., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T. 2008. "Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review". *Agronomy for Sustainable Development* 28 (1): 163–174.
- Sattler C., Nagel U. J., Werner A., Zander P. 2010. "Integrated Assessment of Agricultural Production Practices to Enhance Sustainable Development in Agricultural Landscapes". *Ecological Indicators* 10 (1): 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.014>.
- Sebillotte M. 1990. « Système de culture : un concept opératoire pour les agronomes ». *Les systèmes de culture*. 165-196.
- Speight M. 2012. « The Syrph the Net of European Syrphidae (Diptera) ». *Quaderni della Stazione di Ecologia-Civico Museo di Storia Naturale FERRARA* (20): 23-44.
- Steffen W., Richardson K., Rockstrom J., Cornell S. E., Fetzer I., Bennett E. M., Biggs R. 2015. « Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet ». *Science* 347. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Therond O., Tichit M. 2017. « Evaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes agricoles. Une contribution au programme EFSE. Synthèse du rapport d'étude ». 118 pages.
- Therond O., Tichit M., Tibi A., Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., *et al.* 2017. « Volet "écosystèmes agricoles" de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. Rapport d'étude ». 966 pages.
- Tosser V., Chapelin-Viscardi J.-D. 2016. "Effects of Three Cropping Systems on Carabidae". *14th ESA Congress*. 2 pages.
- Vélu A., Alaphilippe A., Angevin F., Guérin A., Guillermin P., Zavagli F. 2015. « Tutoriel d'utilisation de DEXiFruits ». 90 pages.



## Annexes

### I - Descriptif détaillé de méthodes recensées dans l'état de l'art

#### Indicateurs de cause

- Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study (Billeter *et al.*, 2007)

L'objectif de cette étude est de vérifier la corrélation entre des variables pouvant être considérées comme des indicateurs de cause et la RS et abondance de différents groupes taxonomiques observés sur le terrain. Cette étude pourrait être considérée comme ne rentrant pas dans le cadre de cette synthèse, les indicateurs de cause ayant une puissance explicative assez faible pour permettre une évaluation *a priori*. Cependant, la mise en évidence de corrélations renforce la pertinence de ces indicateurs, d'où le choix de les intégrer à la synthèse.

Ainsi, cinq indicateurs montrent des corrélations avec différents groupes taxonomiques :

- La surface d'habitats semi-naturels, positivement corrélée avec la RS des oiseaux, des arthropodes auxiliaires et des plantes vasculaires<sup>25</sup> ;
- Le pourcentage de terres agricoles fortement fertilisées, négativement corrélé avec la RS des plantes vasculaires ;
- Les apports d'engrais, négativement corrélés avec la RS des oiseaux ;
- La diversité des cultures, positivement corrélée avec la RS des arthropodes auxiliaires ;
- La diversité des habitats semi-naturels, positivement corrélée avec la RS des abeilles.

Bien que ces corrélations ont été statistiquement établi sur des mailles de 16 km<sup>2</sup>, il nous a semblé intéressant de retenir cette méthode, ces corrélations pouvant se retrouver à des échelles inférieures que celles définies dans l'étude.

- Sustainable Performance Assessment : SPA (Kuneman et Fellus, 2014)

La performance de durabilité des exploitations détaillée dans cet outil se base sur de nombreux critères : changement climatique et énergie, pesticides, qualité du sol, quantité d'eau, fertilisants, biodiversité, bien-être animal, gestion des terres agricoles, santé et sécurité des opérateurs, stabilité financière.

L'indicateur « score de biodiversité », renseignant le critère biodiversité, est obtenu grâce à un questionnaire à choix simple ou multiple. Il est exprimé sous la forme d'un score allant de 1 à 100.

Cet indicateur peut être considéré comme un indicateur de cause de par sa simplicité mais il est intéressant car il essaye de synthétiser de nombreuses informations collectées via le questionnaire et exprimé via une note finale unique.

#### Indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple

De nombreux indicateurs prédictifs basés sur un modèle simple ont été recensés dans cette méthode, d'où la typologie spécifique développée dans la partie portant sur les spécificités de l'évaluation de la biodiversité et des SE. Ainsi, ces indicateurs seront détaillés dans l'ordre avec lequel ils ont été présentés dans la partie mentionnée, soit du plus simple au plus élaboré.

---

<sup>25</sup> « Les plantes vasculaires sont les plantes dotées de vaisseaux permettant la circulation de l'eau », (Muséum national d'Histoire naturelle, s. d.)



## Approches qualitatives basées sur arbres de décision (DEXi)

- MASC 2.0 (Sadok *et al.*, 2009, Craheix *et al.*, 2012), DEXiPM V1 (Pelzer *et al.*, 2012), DEXiPM V2 (Demade, 2014)

Ces trois méthodes DEXi ont été regroupées car elles ont été conçues dans une suite logique, développées les unes après les autres.

La plus ancienne est MASC 2.0. Elle a pour objectif d'évaluer la contribution de SdC au développement durable en réalisant des évaluations a priori. Elle peut servir comme aide à la réflexion d'agriculteurs pour des changements de pratiques ou à la conception de nouveaux systèmes, à la sensibilisation d'étudiants dans le cadre de formation sur l'évaluation des SdC et le développement durable, ou enfin à la communication auprès d'agriculteurs ou d'autres publics.

Les dimensions sociale, économique et environnementale de la contribution au développement durable sont évaluées. Un critère « Conservation de la biodiversité » participe à l'évaluation de la dimension environnementale et présente les indicateurs suivants :

- « Conservation de la faune », agrégation des indicateurs « Macrofaune sol » et « Insectes volants » ;
- « Conservation de la flore » agrégation des indicateurs « Abondance floristique » et « Diversité floristique » ;
- « Conservation des micro-organismes du sol ».

Ce modèle terrain propose donc quelques indicateurs de biodiversité tout en ayant la volonté de rester accessible et transférable, et a notamment pu être manipulée par des techniciens.

Cependant, la méthode MASC 2.0 a présenté un besoin d'amélioration au niveau de sa branche « Conservation de la biodiversité ». Cette branche a donc été retravaillée avec des spécialistes au sein du modèle recherche DEXiPM (Pelzer *et al.*, 2012). Cette méthode permet elle aussi l'évaluation *ex ante* de SdC innovants portés sur la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires. L'EMC définit la durabilité globale des SdC en se basant sur la durabilité économique, sociale et environnementale.

La durabilité environnementale présentait dans la version de 2012 un critère « biodiversité aérienne et épigée » renseigné par deux indicateurs agrégés « faune » et « flore » (Pelzer *et al.*, 2012). L'indicateur « faune » était détaillé via les « ennemis naturels du sol », les « ennemis naturels volants » et les « pollinisateurs ». L'indicateur « flore » regroupait les « adventices » ainsi que la « flore naturelle/semi-naturelle ». Les indicateurs développés dans cette méthode présentent plus de finesse et de robustesse que ceux de la méthode MASC 2.0, fruit du travail réalisé pour son amélioration. Cette « première version » de DEXiPM a été nommée DEXiPM V1 dans ce mémoire.

Une deuxième version de ce modèle DEXiPM plus récent (nommée DEXiPM V2 pour ce rapport) a été élaborée afin notamment d'améliorer la branche biodiversité du modèle initial (Demade, 2014). Dans cette version, le modèle décrit un critère « organismes vivants » à l'aide d'un indicateur « conservation de la biodiversité » et un indicateur « régulation naturelle ». Ainsi, le modèle propose un indicateur de biodiversité et de SE.

L'indicateur « conservation de la biodiversité » est détaillé via la « faune vertébré », la « faune invertébré » et le « statut de la flore semi-naturelles ». La « régulation naturelle » est évaluée via les attributs « ennemis naturels » (agrégation des indicateurs « Ennemis naturels volants », « Ennemis naturels rampants » et « Ennemis naturels du sous-sol ») et « balance optimale en adventices » (vu



comme un compromis entre l'apport de ressources nécessaires aux autres espèces de l'écosystème et le dis-service produit par l'antagonisme avec les cultures)..

- DEXiFruits (Vélu *et al.*, 2015)

DEXiFruits est un modèle de recherche conçu pour l'évaluation *ex ante* de la durabilité des systèmes de production en arboriculture. Elle découle d'une adaptation de DEXiPM aux cultures pérennes. Elle repose aussi sur les trois piliers de la durabilité (durabilité économique, environnementale et sociale).

La durabilité environnementale présente notamment un critère « Biodiversité » se basant sur trois indicateurs : « Flore », « Faune » et « Micro-organismes ». La méthode agrège aussi les critères d'entrées à l'aide d'un arbre de décision.

Bien que cette méthode soit dédiée à l'arboriculture, il a été retenu pour l'intérêt de certains indicateurs agrégés très détaillés, notamment au niveau de la qualité du paysage. De plus, la présente synthèse recense très peu de modèles ou méthodes ayant des sorties qualitatives, d'où le souhait d'avoir une meilleure représentativité de ce genre de sorties.

- IBEA (Anonyme, 2013)

Le modèle terrain IBEA a pour objectif de renforcer la prise en compte de la biodiversité dans le développement des activités agricoles, de promouvoir des pratiques culturales vertueuses en matière de préservation de la biodiversité ou enfin offrir un support de discussion. Ce modèle a aussi été construit à l'aide de la méthode DEXi.

Cette méthode propose un indicateur « impact sur la biodiversité sauvage ». Cet indicateur est calculé à partir d'un arbre de décision à l'échelle de l'exploitation agricole à partir des pratiques culturales. L'intérêt de cette méthode est d'évaluer de manière conjointe la biodiversité planifiée (domestique).

- Arbres multicritères AuxiMore : DEXi-Syrphes, DEXi-Coccinelles, DEXi-Chrysopes, DEXi-ParasitoïdesDePucerons (Chabert, 2015)

Ces modèles de recherche ont pour objectif d'évaluer *a priori* le potentiel d'accueil de parcelle pour quatre groupes d'ennemis naturels des pucerons : les Syrphes, les Coccinelles, les Chrysopes, et les Micro-Hyménoptères Parasitoïdes de pucerons. Les Syrphes et Coccinelles considérés sont donc les espèces de ces groupes ayant au moins un stade aphidiphage. Ces modèles ont été élaborés pour l'aide à la conception de nouveaux SdC et pour réaliser des diagnostics de systèmes existants.

Ils renseignent des potentiels en lien avec les différents ennemis naturels considérés, représentant la capacité d'accueil et de maintien des populations de l'auxiliaire évalué sur une parcelle, en fonction des pratiques culturales et de l'environnement extra-parcellaire. Le service de régulation naturelle en lien avec ces populations d'auxiliaires n'est pas renseigné.

A noter que dans le cadre du projet ARENA (Anticiper les REGulations NATurelles), ces méthodes sont retravaillées afin de réaliser des évaluations plus fiables, avec une attention se portant principalement sur l'arbre renseignant le « Potentiel Syrphe », les quatre arbres délivrant des évaluations proches de par la ressemblance des critères permettant leur calcul (André Chabert, discussion personnelle).





- DEXiAbeilles (Decourtye *et al.*, 2014)

L'objectif du modèle recherche DEXi-Abeilles est d'évaluer des SdC sur la base de leur intérêt économique pour l'agriculteur et l'apiculteur, leur acceptabilité sociale et leur intérêt environnemental.

La dimension environnementale comprend notamment un critère « ressources biotiques » notamment décrit par les indicateurs : « biodiversité floristique » et « pollinisateur » décrit entre autre par les indicateurs « abeilles sauvages » et « bourdons ».

### Approches continues avec arbre de décision (logique floue)

- MODAM (Sattler *et al.*, 2010)

Le modèle MODAM (Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management) est un modèle permettant de modéliser des performances environnementales et économiques d'un SdC. En ce qui concerne la performance environnementale, cinq indicateurs sont utilisés pour le volet biodiversité, plus précisément en lien avec un critère « préserver et améliorer la diversité naturelle et améliorer la fonction d'habitat des paysages agricoles ». Les indicateurs sont les suivants :

- « Effets associés sur l'habitat potentiel du Crapaud sonneur à ventre de feu (*Bombina bombina*) » ;
- « Effets associés sur l'habitat potentiel de l'Alouette des champs (*Alauda arvensis*) » ;
- « Effets associés sur l'habitat potentiel du Lièvre d'Europe (*Lepus europaeus*) » ;
- « Effets associés sur l'habitat potentiel des Syrphes (genre *Syrphidae*) » ;
- « Effets associés sur l'habitat potentiel des espèces végétales sauvages (plus précisément les annuelles hivernales) ».

La méthode de calcul se base sur une logique floue ce qui permet d'exprimer les indicateurs via des scores continus allant de 0 à 1. Plus le score est proche de 1, moins les effets des pratiques agricoles sont néfastes quant à la conservation du potentiel d'accueil des habitats. Ils sont calculés à partir des variables suivantes : apport d'azote (fertilisation minérale), indice de fréquence de traitement (insecticides/régulateur de croissance/herbicides), perturbations pendant les périodes de sensibilités des différentes espèces, potentiel des habitats (dérivé selon les espèces), pratiques culturales.

Seuls les syrphes appartiennent à la biodiversité auxiliaire, les autres espèces appartenant à la biodiversité extra-agricole. Sattler *et al.*, (2010), détaillent l'utilisation de ce modèle et présentent un cas concret de son utilisation basé sur la zone géographique de l'Allemagne de l'Est.

### Approches quantitatives utilisant l'occupation du sol

- EnRisk project (Delbaere et Nieto Serradilla, 2004)

Le but du projet EnRisk est de fournir un support scientifique aux réglementations environnementales nationales et européennes en :

- Identifiant les risques liés aux thèmes environnementaux (dont la biodiversité), et les zones environnementales sensibles et à risque en Europe ;
- Interprétant les informations socio-économiques et environnementales existantes et leur efficacité pour les objectifs des réglementations ;
- Testant la fiabilité des informations européennes pour l'estimation de la durabilité des territoires agricoles en les comparants à des études de cas régionales ;



- Fournissant des recommandations pour de futures évaluations et implémentation de réglementation.

En ce qui concerne la biodiversité, un indicateur « score de menace » a été sélectionné pour évaluer le risque lié aux pratiques agricoles sur un groupe fonctionnel<sup>26</sup> d'oiseau (les oiseaux nicheurs). Il est obtenu en croisant des jeux de données existant renseignant la diversité des couvertures du sol (Corine Land Cover) et les listes d'espèces d'oiseaux publié par « BirdLife International », confronté aux pressions exercées par l'agriculture sur les espèces retenues. Ainsi, une zone très exposée mais présentant une RS faible du fait de l'écosystème aboutira à un score faible (risque élevé mais potentiellement peu d'espèces impactées), le score maximal étant lié à une zone présentant la plus grande RS potentielle du fait de l'habitat mais la plus exposée aux impacts négatifs des pratiques agricoles (cas du risque maximal : risque de perturbations maximal et potentiellement toutes les espèces impactées). L'objectif est donc d'avoir un le score le moins élevé possible.

- [Environmental Sustainability of Canadian Agriculture : Agri-Environmental Indicator Report Series \(Chunn \*et al.\*, 2005 ; Clearwater \*et al.\*, 2016\)](#)

L'objectif de ce rapport et des indicateurs présentés dans celui-ci est d'évaluer la durabilité environnementale de l'agriculture canadienne. Les différents critères évalués dans sa forme la plus récente sont les suivants : la gestion des surfaces agricoles (couverture des sols, protection intégré des cultures, efficacité de l'utilisation de l'azote, etc.), qualité du sol, qualité de l'eau, qualité de l'air et émission de gaz à effets de serre. Dans une version antérieure (Chunn *et al.*, 2005), un critère biodiversité existait, en partie décrit par les indicateur suivants : « indicateur de la biodiversité du sol » et « habitat semi-naturels présent sur l'exploitation agricole ». Dans la version la plus récente (Clearwater *et al.*, 2016), seul l'indicateur « habitat semi-naturels présent sur l'exploitation agricole » est resté, renseignant le critère gestion des surfaces agricoles.

Cet indicateur prédictif, basé sur un modèle simple, aboutit à une classe renseignant la capacité de l'agriculture canadienne à fournir des habitats remplissant les besoins et exigences des vertébrés terrestres. Pour cela :

- Des informations sur la couverture du sol sont renseignés par l'outil « Paysage et sol du Canada » qui détaille les différents types de couverture du sol au Canada ;
- Un total de 579 espèces (363 oiseaux, 136 mammifères, 42 amphibiens et 38 reptiles) a été considéré. Pour chaque espèce, le pourcentage d'habitat ou de site de nutrition disponible dans le paysage déterminer une note de satisfaction des exigences spécifiques ;
- Une note globale est obtenue en prenant la moyenne des notes de satisfaction des exigences spécifiques pour chaque paysage.

Seules des pistes méthodologiques afin de constituer un « indicateur de la biodiversité du sol » étaient présentes dans la version de 2005 du rapport. Il semble que cet indicateur ait été abandonné car il n'est pas présent dans l'édition la plus récente du rapport.

### **Méthodes basées sur des notes**

- [SALCA \(Jeanneret \*et al.\*, 2014\)](#)

Cette méthode fonctionne avec des indicateurs liés à la RS ou aux exigences écologiques des espèces des taxons suivants :

---

<sup>26</sup> Ensemble d'organismes partageant un trait fonctionnel commun



- RS des taxons suivants : les plantes vasculaires (flore des prairies et des cultures), oiseaux (*Aves*), petits mammifères (*Mammalia*), amphibiens (*Amphibia*), escargots (*Gastropoda*), araignées (*Araneae*), carabes (*Carabidae*), papillons (*Rhopalocera*), abeilles sauvages (*Apoidea*) et les sauterelles (*Orthoptera*) ;
- Exigences écologique des espèces des taxons suivants : amphibiens, escargots, araignées, carabes, papillons et les sauterelles.

Un score est attribué par groupe taxonomiques en multipliant :

- Un score représentant l'impact des pratiques, allant de 1 (gestion la plus dommageable au groupe considéré) à 5 (gestion la plus favorable) ;
- D'un coefficient global obtenu à partir de la moyenne entre un coefficient (allant de 1 à 10) permettant de pondérer la note attribuée au mode de gestion en rapport avec le groupe taxonomique considéré, et un second coefficient (allant de 0 à 10) permettant de quantifier l'importance pour chaque groupe taxonomique des pratiques ayant lieu dans les cultures ou les habitats semi-naturels.

Des corrélations positives ont été obtenues en prairie entre résultat des indicateurs de RS pour les plantes vasculaires et les sauterelles, ainsi que pour l'exigence écologique des sauterelles obtenus avec la méthode et RS mesurée sur le terrain.

### Méthodes basées sur un modèle statistique

- [Icarab \(Lasserre-Joulin \*et al.\*, 2015\)](#)

L'outil Icarab a été développé dans le cadre du CASDAR « Auximore » grâce à l'analyse des données récoltées. Son objectif est d'évaluer l'impact des pratiques agricoles et du paysage au sens large sur les populations de carabes, en termes d'abondance et de diversité. Les indicateurs sont liés à des catégories de taille de carabes, car celle-ci est corrélée avec le potentiel auxiliaire de ce groupe.

Les données nécessaires au calcul de cet outil sont principalement des données de couverture de sol, bien que certains types de pratiques (notamment le labour) peuvent déterminer les résultats.

- [Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques : EFESE \(Therond \*et al.\*, 2017\)](#)

Ce programme a été initié en 2012 afin d'évaluer notamment les SE dans le contexte du territoire français. Les travaux se basent sur des outils comme le CICES mais sont adaptés et explicités dans le cadre restreint du pays. Un des buts du programme EFESE est notamment de construire des modèles permettant d'évaluer les SE rendus par différents écosystèmes et catégories de biodiversité.

De par le nombre important d'experts réunis dans ce programme et son lancement récent (de fait au plus proche niveau de compréhension scientifique actuelle), cette étude est incontournable pour une approche des SE des agroécosystèmes français.

L'étude propose différents indicateurs en lien avec les différentes catégories de SE, dont certains basés sur des modèles obtenus grâce à des analyses statistiques :

- Pour la régulation des graines d'adventices, un indicateur d'abondance potentielle des carabes granivores et omnivores est développé. Cet indicateur a été créé en adoptant une démarche corrélatrice en élaborant un modèle statistique permettant de rattacher l'abondance des carabes granivores ou omnivores au pourcentage de grandes cultures et de prairies



- permanentes dans le paysage autour de chaque parcelle et dans un rayon de 1 km. Ainsi, le service est estimé via la présence des organismes fournissant ce service ;
- Pour la régulation des insectes ravageurs, un indicateur de niveau de régulation des pucerons a été élaboré en observant dans un premier temps la différence de taux de croissance de pucerons entre une modalité d'exclusion totale ou de non exclusion des prédateurs naturels. Ensuite la corrélation entre le résultat donné par l'indicateur et la nature du paysage dans un rayon d'1 km a été étudiée, notamment à l'aide de modèle statistiques. Ceci a permis d'élaborer un modèle donnant le taux de régulation potentielle en fonction de la surface de terres cultivés dans un rayon de 1 km carré.

## Equations prenant en compte les processus

- [A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity \(Butler \*et al.\*, 2009\)](#)

L'objectif de cette méthode est de développer un indicateur standardisé pour quantifier la richesse de la biodiversité agricole en se basant sur divers groupes taxonomiques, à savoir les plantes dicotylédones, les papillons, les bourdons, les mammifères et les oiseaux des milieux agricoles.

L'étude se base sur six changements majeur de l'agriculture anglaise ayant pu avoir un impact sur l'abondance et la disponibilité des ressources nécessaires au différents groupes taxonomiques. Ces changements sont les suivants : passage d'un semis de printemps à un semis d'automne, augmentation de l'utilisation de produits phytosanitaires, pertes des habitats non cultivés (notamment les haies et bordures de champs), drainage des terres, abandon du foin au profit de l'ensilage, et enfin l'augmentation de la charge animale. Des scores de risque étaient calculés pour chaque espèce des groupes taxonomiques en lien avec les changements précédemment cités. Ces scores de risques représentent la proportion de ressources nécessaires à l'espèce considérée et affectée par les changements des pratiques agricoles. Afin d'aboutir à un indicateur globale, les scores de risques sont standardisés puis agrégés entre eux.

- [Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques : EFESE \(Therond \*et al.\*, 2017\)](#)

Les indicateurs en lien avec la pollinisation développés ou cités dans EFESE essayent de prendre en compte les différents éléments régissant ce SE, comme par exemple le climat qui affecte l'activité des pollinisateurs ou la dépendance de la culture à la pollinisation. Voici le détail des deux indicateurs retenus dans cette étude :

- L'indicateur de potentiel de pollinisation (tiré du programme européen MAES) est un indicateur du SE fondé sur les rendements des cultures spécifique au programme EFESE. L'indicateur issu du programme MAES est obtenu par la multiplication d'une probabilité de visite par les pollinisateurs en fonction de partir de la distance à l'habitat semi-naturel le plus proche et de la dépendance de la culture aux pollinisateurs. La valeur obtenue est ensuite attribuée à l'habitat semi-naturel le plus proche (dans la limite de 5 km). Cet indicateur ne fait cependant pas de distinction de qualité entre les différents habitats semi-naturels ;
- L'indicateur développé dans EFESE estime la capacité d'accueil du milieu en termes de site de nidification et de butinage en se basant sur un modèle abeille sauvage. Une abondance potentielle en fonction de l'environnement est calculée, pondérée par un indice d'activité en fonction du climat. Cette abondance potentielle est combinée à un modèle de déplacement des pollinisateurs pour recherche de nourriture s'appuyant sur la capacité de déplacement de l'abeille solitaire (200 m) pour donner un l'indice de potentiel relatif de pollinisation.





## Indicateurs prédictifs basés sur un modèle complexe

- Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques : EFESE (Therond *et al.*, 2017)

Enfin, en ce qui concerne le service de fourniture d'azote minéral aux plantes cultivées, un indicateur renseignant la quantité d'azote fournie par l'écosystème sur la période de culture (minéralisation + fixation) a été développé dans le cadre de l'étude EFESE. C'est un indicateur complexe, obtenu en manipulant les sorties de le modèle STICS, un modèle permettant de simuler le système sol-atmosphère-culture et nécessitant une phase important de paramétrage.



## II – Résultat complets des méthodes DEXiPM et MASC

- Système RAIS

2009	3/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 11 : Arbre d'agrégation de MASC - système RAIS, année 2009

2010	3/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 12 : Arbre d'agrégation de MASC - système RAIS, année 2010

2011	1/4	Insectes volants	1/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	1/4	Conservation de la flore		
	1/4	Diversité floristique				
	1/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 13 : Arbre d'agrégation de MASC - système RAIS, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



2009	3/4	Ennemis naturels du sol		2/4	Faune	2/5	Biodiversité	
	2/4	Ennemis naturels volants						
	2/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle			2/4			Flore
	2/4	Diversité des adventices	2/4	Adventices				
	2/4	Abondance des adventices						

Figure 14 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système RAIS, année 2009

2010	3/4	Ennemis naturels du sol		2/4	Faune	2/5	Biodiversité	
	2/4	Ennemis naturels volants						
	2/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle			2/4			Flore
	1/4	Diversité des adventices	1/4	Adventices				
	1/4	Abondance des adventices						

Figure 15 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système RAIS, année 2010

2011	3/4	Ennemis naturels du sol		1/4	Faune	1/5	Biodiversité	
	1/4	Ennemis naturels volants						
	1/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle			2/4			Flore
	1/4	Diversité des adventices	1/4	Adventices				
	1/4	Abondance des adventices						

Figure 16 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système RAIS, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



2009	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	3/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale						
	2/4	Zone non cultivée	3/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	2/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice				
	3/4	Diversité des adventices						
	3/5	Ennemis naturels volants	3/5	Ennemis naturels		Régulation biologique		
	4/5	Ennemis naturels rampants						
2/5	Ennemis naturels du sol							

Figure 17 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système RAIS, année 2009

2010	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	2/5	Conservation	2/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale						
	2/4	Zone non cultivée	2/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	1/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice				
	3/4	Diversité des adventices						
	2/5	Ennemis naturels volants	3/5	Ennemis naturels		Régulation biologique		
	4/5	Ennemis naturels rampants						
4/5	Ennemis naturels du sol							

Figure 18 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système RAIS, année 2010

2011	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	2/5	Conservation	2/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale						
	2/4	Zone non cultivée	2/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	1/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice				
	3/4	Diversité des adventices						
	2/5	Ennemis naturels volants	2/5	Ennemis naturels		Régulation biologique		
	4/5	Ennemis naturels rampants						
2/5	Ennemis naturels du sol							

Figure 19 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système RAIS, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée





• Système INT

2009	3/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 20 : Arbre d'agrégation de MASC - système INT, année 2009

2010	3/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 21 : Arbre d'agrégation de MASC - système INT, année 2010

2011	2/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 22 : Arbre d'agrégation de MASC - système INT, année 2011

*Légende*

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



2009	3/4	Ennemis naturels du sol		4/4	Faune	4/5	Biodiversité	
	3/4	Ennemis naturels volants						
	3/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	2/4	Diversité des adventices	2/4					Adventices
	2/4	Abondance des adventices						

Figure 23 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système INT, année 2009

2010	3/4	Ennemis naturels du sol		4/4	Faune	4/5	Biodiversité	
	3/4	Ennemis naturels volants						
	3/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	2/4	Diversité des adventices	2/4					Adventices
	2/4	Abondance des adventices						

Figure 24 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système INT, année 2010

2011	3/4	Ennemis naturels du sol		1/4	Faune	1/5	Biodiversité	
	1/4	Ennemis naturels volants						
	1/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	2/4	Diversité des adventices	2/4					Adventices
	2/4	Abondance des adventices						

Figure 25 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système INT, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible		faible à moyenne		très élevée
faible		moyenne		élevée



2009	3/5	Faune (vertébrée)	4/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	4/5	Biodiversité		
	4/5	Faune (invertébrée)								
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	2/4	Zone non cultivée								
	2/4	Bords de champ								
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice					5/5	Régulation biologique
	3/4	Diversité des adventices								
	4/5	Ennemis naturels volants	5/5	Ennemis naturels						
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 26 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système INT, année 2009

2010	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	3/5	Biodiversité		
	3/5	Faune (invertébrée)								
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	2/4	Zone non cultivée								
	2/4	Bords de champ								
	1/4	Adondance optimum des adventices	2/5	Balance optimale en adventice					3/5	Régulation biologique
	3/4	Diversité des adventices								
	3/5	Ennemis naturels volants	4/5	Ennemis naturels						
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	3/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 27 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système INT, année 2010

2011	4/5	Faune (vertébrée)	4/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	4/5	Biodiversité		
	4/5	Faune (invertébrée)								
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	2/4	Zone non cultivée								
	2/4	Bords de champ								
	2/4	Adondance optimum des adventices	4/5	Balance optimale en adventice					5/5	Régulation biologique
	4/4	Diversité des adventices								
	4/5	Ennemis naturels volants	5/5	Ennemis naturels						
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	3/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 28 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système INT, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



- Système MACH

2009	1/4	Insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune	1/4	Conservation de la biodiversité
	3/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	2/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 29 : Arbre d'agrégation de MASC - système MACH, année 2009

2010	2/4	Insectes volants	3/4	Conservation de la macrofaune	2/4	Conservation de la biodiversité
	3/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	2/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 30 : Arbre d'agrégation de MASC - système MACH, année 2010

2011	2/4	Insectes volants	3/4	Conservation de la macrofaune	2/4	Conservation de la biodiversité
	3/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore		
	2/4	Diversité floristique				
	2/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 31 : Arbre d'agrégation de MASC - système MACH, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée





2009	4/4	Ennemis naturels du sol		2/4	Faune	2/5	Biodiversité	
	1/4	Ennemis naturels volants						
	1/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	1/4	Diversité des adventices	1/4					Adventices
	1/4	Abondance des adventices						

Figure 32 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système MACH, année 2009

2010	4/4	Ennemis naturels du sol		3/4	Faune	3/5	Biodiversité	
	2/4	Ennemis naturels volants						
	2/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	1/4	Diversité des adventices	1/4					Adventices
	1/4	Abondance des adventices						

Figure 33 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système MACH, année 2010

2011	4/4	Ennemis naturels du sol		2/4	Faune	2/5	Biodiversité	
	1/4	Ennemis naturels volants						
	1/4	Pollinisateurs						
	2/4	Flore naturelle/semi-naturelle		2/4	Flore			
	1/4	Diversité des adventices	1/4					Adventices
	2/4	Abondance des adventices						

Figure 34 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système MACH, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



2009	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	2/5	Conservation	3/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale	2/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	2/4	Zone non cultivée						
	1/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	4/5	Balance optimale en adventice	4/5	Régulation biologique		
	4/4	Diversité des adventices						
	2/5	Ennemis naturels volants	3/5	Ennemis naturels				
	3/5	Ennemis naturels rampants						
	4/5	Ennemis naturels du sol						

Figure 35 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système MACH, année 2009

2010	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	2/5	Conservation	3/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale	2/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	2/4	Zone non cultivée						
	1/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	4/5	Balance optimale en adventice	4/5	Régulation biologique		
	4/4	Diversité des adventices						
	2/5	Ennemis naturels volants	3/5	Ennemis naturels				
	3/5	Ennemis naturels rampants						
	4/5	Ennemis naturels du sol						

Figure 36 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système MACH, année 2010

2011	3/5	Faune (vertébrée)	3/5	Faune semi-naturelle	2/5	Conservation	3/5	Biodiversité
	3/5	Faune (invertébrée)						
	2/3	Intensification régionale	2/5	Statut de la flore semi-naturelle				
	2/4	Zone non cultivée						
	1/4	Bords de champ						
	2/4	Adondance optimum des adventices	4/5	Balance optimale en adventice	4/5	Régulation biologique		
	4/4	Diversité des adventices						
	2/5	Ennemis naturels volants	3/5	Ennemis naturels				
	3/5	Ennemis naturels rampants						
	4/5	Ennemis naturels du sol						

Figure 37 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système MACH, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée	
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée		très élevée
faible		moyenne		élevée	



• Système BIO

2009	4/4	Insectes volants	3/4	Conservation de la macrofaune	3/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	3/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	3/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 38 : Arbre d'agrégation de MASC - système BIO, année 2009

2010	4/4	Insectes volants	3/4	Conservation de la macrofaune	3/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	3/4	Conservation de la flore		
	4/4	Diversité floristique				
	3/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 39 : Arbre d'agrégation de MASC - système BIO, année 2010

2011	4/4	Insectes volants	3/4	Conservation de la macrofaune	3/4	Conservation de la biodiversité
	2/4	Macrofaune du sol				
	2/4	Abondance floristique	3/4	Conservation de la flore		
	3/4	Diversité floristique				
	3/4	Conservation des micro-organismes du sol				

Figure 40 : Arbre d'agrégation de MASC - système BIO, année 2011

*Légende*

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible		faible à moyenne		très élevée
faible			élevée	



2009	3/4	Ennemis naturels du sol		4/4	Faune	5/5	Biodiversité	
	4/4	Ennemis naturels volants						
	4/4	Pollinisateurs						
	4/4	Flore naturelle/semi-naturelle		4/4	Flore			
	3/4	Diversité des adventices	4/4					Adventices
	3/4	Abondance des adventices						

Figure 41 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système BIO, année 2009

2010	3/4	Ennemis naturels du sol		4/4	Faune	5/5	Biodiversité	
	4/4	Ennemis naturels volants						
	4/4	Pollinisateurs						
	4/4	Flore naturelle/semi-naturelle		4/4	Flore			
	3/4	Diversité des adventices	4/4					Adventices
	3/4	Abondance des adventices						

Figure 42 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système BIO, année 2010

2011	3/4	Ennemis naturels du sol		4/4	Faune	5/5	Biodiversité	
	4/4	Ennemis naturels volants						
	4/4	Pollinisateurs						
	4/4	Flore naturelle/semi-naturelle		4/4	Flore			
	3/4	Diversité des adventices	4/4					Adventices
	3/4	Abondance des adventices						

Figure 43 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V1 - système BIO, année 2011

**Légende**

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible		faible à moyenne		très élevée
faible		moyenne		élevée





2009	5/5	Faune (vertébrée)	5/5	Faune semi-naturelle	5/5	Conservation	5/5	Biodiversité		
	5/5	Faune (invertébrée)								
	3/3	Intensification régionale	5/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	3/4	Zone non cultivée								
	3/4	Bords de champ								
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice						
	3/4	Diversité des adventices								
	5/5	Ennemis naturels volants	5/5	Ennemis naturels					5/5	Régulation biologique
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 44 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO, année 2009

2010	5/5	Faune (vertébrée)	5/5	Faune semi-naturelle	5/5	Conservation	5/5	Biodiversité		
	5/5	Faune (invertébrée)								
	3/3	Intensification régionale	5/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	3/4	Zone non cultivée								
	3/4	Bords de champ								
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice						
	3/4	Diversité des adventices								
	5/5	Ennemis naturels volants	5/5	Ennemis naturels					5/5	Régulation biologique
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 45 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO, année 2010

2011	5/5	Faune (vertébrée)	5/5	Faune semi-naturelle	5/5	Conservation	5/5	Biodiversité		
	5/5	Faune (invertébrée)								
	3/3	Intensification régionale	5/5	Statut de la flore semi-naturelle						
	3/4	Zone non cultivée								
	3/4	Bords de champ								
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice						
	3/4	Diversité des adventices								
	5/5	Ennemis naturels volants	5/5	Ennemis naturels					5/5	Régulation biologique
	4/5	Ennemis naturels rampants								
	4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 46 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO, année 2011

### Légende

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



• **Système BIO : paysage uniformisé**

Seuls les résultats de la méthode DEXiPM V2 seront présentés, l'uniformisation du paysage n'ayant pas d'effet sur les indicateurs obtenus avec DEXiPM.

2009	3/5	Faune (vertebrée)	4/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	3/5	Biodiversité	
	4/5	Faune (invertébrée)							
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle					
	3/4	Zone non cultivée							
	2/4	Bords de champ							
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice		3/5			Régulation biologique
	3/4	Diversité des adventices							
	4/5	Ennemis naturels volants	4/5	Ennemis naturels					
	2/5	Ennemis naturels rampants							
4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 47 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO - paysage uniformisé, année 2009

2010	3/5	Faune (vertebrée)	4/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	3/5	Biodiversité	
	4/5	Faune (invertébrée)							
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle					
	3/4	Zone non cultivée							
	2/4	Bords de champ							
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice		3/5			Régulation biologique
	3/4	Diversité des adventices							
	4/5	Ennemis naturels volants	4/5	Ennemis naturels					
	2/5	Ennemis naturels rampants							
4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 48 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO - paysage uniformisé, année 2010

2011	3/5	Faune (vertebrée)	4/5	Faune semi-naturelle	3/5	Conservation	3/5	Biodiversité	
	4/5	Faune (invertébrée)							
	2/3	Intensification régionale	3/5	Statut de la flore semi-naturelle					
	3/4	Zone non cultivée							
	2/4	Bords de champ							
	2/4	Adondance optimum des adventices	3/5	Balance optimale en adventice		3/5			Régulation biologique
	3/4	Diversité des adventices							
	4/5	Ennemis naturels volants	4/5	Ennemis naturels					
	2/5	Ennemis naturels rampants							
4/5	Ennemis naturels du sol								

Figure 49 : Arbre d'agrégation de DEXiPM V2 - système BIO - paysage uniformisé, année 2011

**Légende**

très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible	faible à moyenne		moyenne à élevée	très élevée
faible		moyenne		élevée



### III - Détails des variations interannuelles des indicateurs issus des méthodes DEXi

Tableau 21 : Détail des variations interannuelles des méthodes DEXi : indicateurs permettant d'évaluer la biodiversité

	RAIS		INT		MACH	
2009	DEXiPM V2 « Biodiversité »	IFT herbicides moins important. Effet positif sur l'indicateur « Bord de champs » influençant la flore et par agrégation des indicateurs en lien avec les ennemis naturels volants.			MASC « Conservation de la biodiversité »	Baisse de la diversité des familles cultivées. Impact négatif sur l'indicateur « Insectes volants ».
2010			DEXiPM V2 « Biodiversité »	Augmentation des passages de désherbage mécanique. Impact négatif sur l'indicateur « Balance optimale en adventices », ce qui se répercute sur les indicateurs suivants, par ordre d'agrégation : « Ennemis naturels volants », « Ennemis naturels » et enfin « Régulation naturelle ».	DEXiPM V1 « Biodiversité aérienne et épigée »	Abaissement de l'IFT insecticide. Effet positif au niveau des indicateurs « Pollinisateurs » et « Ennemis naturels volants ».
2011	DEXiPM V1 « Biodiversité aérienne et épigée »	Augmentation de l'IFT insecticide dû à une pression en nuisibles plus importante. Répercussions négatives au niveau des indicateurs « Pollinisateurs » et « Ennemis naturels volants ».	DEXiPM V1 « Biodiversité aérienne et épigée »	Augmentation de l'IFT insecticide dû à une pression en nuisibles plus importante. Répercussions négatives au niveau des pollinisateurs et des ennemis naturels volants		

	Note plus faible
	Note plus élevée



**Tableau 22 : Détail des variations interannuelles des méthodes DEXi : indicateurs permettant d'évaluer les insectes volants**

	RAIS		INT		MACH	
<b>2009</b>	<b>DEXiPM V1</b> « Ennemis naturels volants »	IFT herbicides moins important. Effet positif sur l'indicateur « Bord de champs » influençant la flore			<b>MASC</b> « Insectes volants »	Faible diversité des familles cultivées dans la rotation
<b>2010</b>			<b>DEXiPM V2</b> « Ennemis naturels volants »	Augmentation des passages de désherbage mécanique. Impact négatif sur l'indicateur « Balance optimale en adventices »	<b>DEXiPM V1</b> « Ennemis naturels volants »	Abaissement de l'IFT insecticide pour cette année
<b>2011</b>	<b>DEXiPM V1</b> « Ennemis naturels volants »	Augmentation de l'IFT insecticide due à une pression plus forte en nuisibles	<b>DEXiPM V1</b> « Ennemis naturels volants » <b>MASC</b> « Insectes volants »	Augmentation de l'IFT insecticide due à une pression plus forte en nuisibles		
	<b>MASC</b> « Insectes volants »	Baisse de la diversité des familles cultivée et hausse de l'IFT insecticides				

	Note plus faible
	Note plus élevée

**Tableau 23 : Détail des variations interannuelles des méthodes DEXi : indicateurs permettant d'évaluer la faune épigée et du sol**

	RAIS		INT	
<b>2009</b>			<b>DEXiPM V2</b> « Ennemis naturels du sol »	Due à un bon équilibre entre l'indicateur « Balance optimale en adventices » et un indicateur renseignant la qualité biologique du sol. En effet, la flore adventice a été négativement impactée en 2010 par l'IFT d'herbicide tandis qu'en 2011 l'IFT total, plus élevé notamment à cause de l'IFT insecticide, a impacté la qualité biologique du sol.
<b>2010</b>	<b>DEXiPM V2</b> « Ennemis naturels du sol »	Réduction de l'intensité de la fertilisation ; malgré une hausse des apports d'azote, aucun apport de phosphate et de potassium n'a été fait cette année-là.		

	Note plus faible
	Note plus élevée





**Tableau 24 : Détail des variations interannuelles des méthodes DEXi : indicateurs permettant d'évaluer la flore adventice**

Pour le système INT et la méthode DEXiPM V2, la note moyenne en 2009 sera utilisée comme point de comparaison pour expliquer les variations.

	RAIS		INT	
<b>2009</b>	<b>DEXiPM V1</b> « Adventices »	IFT herbicide plus faible		
<b>2010</b>			<b>DEXiPM V2</b> « Balance optimale en adventices »	IFT herbicide plus faible
<b>2011</b>			<b>DEXiPM V2</b> « Balance optimale en adventices »	Augmentation de l'intensité du désherbage mécanique

	Note plus faible
	Note plus élevée

**Tableau 25 : Détail des variations interannuelles des méthodes DEXi : indicateurs permettant d'évaluer la flore semi-naturelle**

	RAIS	
<b>2009</b>	<b>DEXiPM V2</b> « Statut de la flore semi-naturelle »	IFT herbicide plus faible
<b>2010</b>		
<b>2011</b>	<b>MASC</b> « Conservation de la flore »	IFT herbicide à spectre large plus important et diminution de la diversité des périodes d'implantation

	Note plus faible
	Note plus élevée