

## **Qualité biologique des sols dans des systèmes d'agriculture de conservation, d'agriculture biologique et dans une prairie de fauche**

**Auteur** : Weisse-Louis, Marie

**Promoteur(s)** : Carnol, Monique; 8911

**Faculté** : Faculté des Sciences

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

**Année académique** : 2019-2020

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/9858>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

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

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

---

# Qualité biologique des sols dans des systèmes d'agriculture de conservation, d'agriculture biologique et dans une prairie de fauche

---

UNIVERSITÉ DE LIÈGE – AOUT 2020  
ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020



Mémoire réalisé par **Marie WEISSE-LOUIS** en vue de l'obtention du grade de Master en Biologie des Organismes et Écologie, à finalité spécialisée en Biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Promoteurs : Monique CARNOL & Simon DIERICKX

Organisme d'accueil : Greenotec

Membres du Jury : Daniel JAMAR, Alain HAMBUCKERS, Nicolas MAGAIN, Monique CARNOL

# REMERCIEMENTS

*Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Monique Carnol, de m'avoir permis de réaliser mon mémoire au sein du laboratoire de microbiologie des sols. Merci pour la supervision de mon travail, les conseils et tous les échanges que nous avons pu avoir.*

*Je tiens également à remercier Simon Dierickx, Daniel Jamar ainsi que Cécile Heneffe et Benjamin Daigneux de m'avoir permis d'avoir un aperçu des projets de recherche Transae et Perséphone.*

*Je remercie tous les membres du laboratoire pour les conseils et réponses aux questions pratiques ainsi que la bonne ambiance de travail, tout particulièrement Arnaud pour l'aide lors des manipulations et Alejandro pour les explications en statistiques.*

*Merci aux agriculteurs qui ont rendu ce mémoire possible en prenant part aux expérimentations, en répondant à l'enquête sociale ou à mes nombreuses questions (surtout mon grand-frère !)*

*Merci à mes parents de m'avoir permis d'aller passer ces belles années à l'Université de Liège, merci à vous ainsi qu'à ma fratrie pour votre soutien parfois indispensable.*

*Enfin, j'aimerais adresser un remerciement plein d'amour à tous les copains qui ont mis la joie et la bonne humeur dans mes années liégeoises. Merci à Marion pour sa présence malgré la distance et à Adrien qui a toujours su tirer un sourire de n'importe quelle situation ! Pour finir, merci à Alexis, Pauline et Corentin de m'avoir accueillie et soutenue ces dernières semaines.*

*Merci à tous*

# Résumé



Faculté des Sciences  
Département de Biologie, Écologie et Évolution  
UR InBioS  
Laboratoire d'écologie végétale et microbienne

## Qualité biologique des sols dans des systèmes d'agriculture de conservation, d'agriculture biologique et dans une prairie de fauche

Mémoire réalisé par Marie WEISSE-LOUIS, aout 2020

Promoteurs : Monique Carnol, Simon Dierickx

Dans le contexte d'une population mondiale grandissante, il est important de s'intéresser aux perspectives d'évolution de l'agriculture et à la qualité des sols afin d'assurer la sécurité alimentaire. Les pratiques agricoles modernes visent à maintenir, voire augmenter la santé, la fertilité et la biodiversité du sol, qui sont les piliers d'une agriculture robuste en termes de production et de stabilité dans le temps. Dans cette étude, nous nous intéressons à l'effet de différents fertilisants azotés sur la qualité du sol d'une prairie de fauche permanente (projet Perséphone). Nous utilisons également différents indicateurs de la qualité des sols afin d'établir les caractéristiques de plusieurs parcelles en conversion en agriculture biologique et de conservation (projet Transae). En parallèle, ce travail s'intéresse aussi à l'importance de la perception de la qualité des sols par les agriculteurs lors du choix de leurs pratiques culturales. Les **objectifs** étaient de : (1) déterminer l'effet de différents fertilisants azotés sur la biomasse microbienne, les fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau, à partir des échantillons du projet Perséphone ; (2) établir la relation entre les fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau et la respiration microbienne, à partir des échantillons du projet Perséphone ; (3) estimer les gammes de valeurs de la biomasse microbienne et des fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau dans les parcelles du projet Transae. (4) étudier l'effet de gestion au sein de chaque site du projet Transae et (5) étudier le lien entre la perception de la qualité du sol par les agriculteurs et les pratiques agricoles employées.

Nous avons démontré que l'application de divers fertilisants dans une prairie de fauche, y compris des digestats issus de réacteurs de biométhanisation, n'avait pas d'effet significatif sur la biomasse microbienne du sol et les fractions d'azote et de carbone extractible à l'eau. Seule exception était une augmentation du carbone soluble à l'eau froide après application de lisier, comparé aux autres traitements de fertilisation. Le potentiel de respiration était corrélé à la biomasse microbienne ainsi qu'au carbone soluble à l'eau froide. Dans les parcelles en transition vers l'agriculture biologique et de conservation, les valeurs de biomasse microbienne étaient faibles dans tous les sites. Nous avons montré une augmentation de la biomasse microbienne suite au changement de gestion en ABC par rapport à l'ancienne gestion dans les parcelles converties depuis quelques mois. Enfin, nous avons observé que la qualité des sols est importante pour les agriculteurs lors de leurs choix de gestion et mis en évidence l'importance d'informer ces derniers quant aux diverses pratiques possibles et leurs conséquences directes et indirectes sur la qualité des sols.

## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introduction .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.1 L'agriculture en Wallonie .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1.1 Les régions agricoles wallonnes.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.1.2 Les prairies de fauche agricoles .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.1.3 Les pratiques culturales en Wallonie.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1.1.4 L'agriculture conventionnelle .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.1.5 L'agroécologie et l'agriculture de conservation .....</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>1.1.5.1 Les piliers de l'agroécologie .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.1.5.2 L'agriculture de conservation et les Techniques Culturales Simplifiées.....</b>        | <b>6</b>  |
| <b>1.1.6 L'agriculture biologique (AB) .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Impacts des pratiques agricoles sur les sols.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1 Perturbations physiques .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1.1 Conséquences de la gestion du paysage .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1.2 Conséquences de l'utilisation des machines agricoles.....</b>                          | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1.3 Conséquences du labour .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>1.2.2 Perturbations chimiques.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>1.2.2.1 Problématiques liées à la fertilisation .....</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>1.2.2.2 Carbone organique .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1.3 Mesures de la qualité des sols.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1.3.1 Services écosystémiques fournis par les sols .....</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>1.3.2 Concepts autour de la qualité des sols .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>1.3.3 Indicateurs de qualité des sols .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1.3.4 Utilisation du carbone organique du sol comme indicateur .....</b>                       | <b>12</b> |
| <b>1.3.5 Les indicateurs biologiques.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.3.6 Utilisation des indicateurs en agriculture.....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>1.4 Lien entre les pratiques agricoles et la perception de la qualité des sols.....</b>        | <b>15</b> |
| <b>1.5 Objectifs .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2. Matériel et méthodes.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.1 Description des parcelles et échantillonnage.....</b>                                      | <b>17</b> |
| <b>2.1.1 Parcelle ValBiom (projet Perséphone) : effet de différents fertilisants ajoutés ....</b> | <b>17</b> |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1.2 | <i>Parcelles du projet Transae : différentes façons de travailler le sol</i> .....  | 18 |
| 2.2   | <i>Analyses effectuées</i> .....  | 18 |
| 2.2.1 | <i>Mesures préliminaires</i> .....  | 18 |
| 2.2.2 | <i>Carbone et azote solubles dans l'eau</i> .....   | 19 |
| 2.2.3 | <i>Mesure de la biomasse microbienne</i> .....  | 19 |
| 2.2.4 | <i>Potentiel de respiration</i> .....   | 19 |
| 2.3   | <i>Aspect social : enquête participative</i> .....  | 20 |
| 2.4   | <i>Calculs et analyse des données</i> .....   | 20 |
| 3.    | <i>Résultats</i> .....  | 21 |
| 3.1   | <i>Effets de fertilisants sur la qualité du sol</i> .....   | 21 |
| 3.1.1 | <i>Effets de fertilisants sur les fractions de carbone et le potentiel de respiration ...</i>                                   | 21 |
| 3.1.2 | <i>Effets de fertilisants sur les fractions d'azote</i> .....   | 22 |
| 3.1.3 | <i>Effets de fertilisants sur les différents rapports MBC/MBN et C/N</i> .....  | 23 |
| 3.1.4 | <i>Relation entre le potentiel de respiration et les fractions de carbone ainsi que la matière organique du sol (SOM)</i> ..... | 24 |
| 3.2   | <i>Études des différentes parcelles du projet Transae</i> .....   | 25 |
| 3.2.1 | <i>Fractions de carbone, variabilité inter- et intra- sites</i> .....   | 25 |
| 3.2.2 | <i>Fractions d'azote, variabilité inter- et intra- site</i> .....   | 27 |
| 3.2.3 | <i>Variabilité intersites des rapports MBC/MBN et C/N</i> .....   | 30 |
| 3.2.4 | <i>Relation entre la biomasse microbienne et les fractions de carbone extraites à l'eau chaude ou froide</i> .....              | 31 |
| 3.3   | <i>Liens entre les pratiques agricoles et la perception de la qualité des sols</i> .....  | 32 |
| 3.3.2 | <i>Perception de la qualité des sols</i> .....  | 33 |
| 3.3.3 | <i>Perception de l'Agriculture Biologique et de l'Agriculture de Conservation</i> .....   | 37 |
| 3.3.4 | <i>Pratiques agricoles</i> .....  | 38 |
| 4.    | <i>Discussion</i> .....   | 39 |
| 4.1   | <i>Effets de fertilisants azotés sur la qualité du sol d'une prairie de fauche</i> .....  | 39 |
| 4.2   | <i>Variations inter et intra sites sur le projet Transae</i> .....  | 40 |
| 4.3   | <i>Utilisation du rapport C/N</i> .....   | 42 |
| 4.4   | <i>Aspect sociétal : perception des agriculteurs</i> .....  | 42 |
| 5.    | <i>Conclusion</i> .....   | 44 |

# LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1. Régions agricoles en Wallonie.....   | 3  |
| Figure 2. Vues aériennes de la commune d'Ogy-Montoy-Flanville (57 530, Lorraine, France). ....   | 7  |
| Figure 3. La qualité des sols est liée aux problématiques environnementales, de santé humaine et à la productivité biologique.....   | 12 |
| Figure 4. Rôle des micro-organismes et vers dans le sol.....   | 14 |
| Figure 5. Moyennes et erreurs standard des fractions de carbone solubles à l'eau et du potentiel de respiration.....   | 21 |
| Figure 6. Moyennes et erreurs standards des fractions d'azote solubles à l'eau. ....   | 22 |
| Figure 7. Moyennes et erreurs standard des différents rapports MBC/MBN et C/N. ....  | 23 |
| Figure 8. Modèles linéaires entre le potentiel de respiration et A : MBC ; B : WSC ; C : HWC ; D : SOM. ....   | 24 |
| Figure 9. Moyennes et erreurs standard des valeurs de carbone en fonction des sites.....   | 26 |
| Figure 10. Moyennes erreurs standard des valeurs d'azote en fonction des sites.....  | 29 |
| Figure 11. Moyennes erreurs standard des rapports MBC/MBN ET C/N en fonction des sites, avec distinction des parcelles.....  | 30 |
| Figure 12. Modèles linéaires construits entre la biomasse microbienne et A : le carbone extrait à l'eau chaude ; B le carbone extrait à l'eau froide ; C : HWC/HWN ; D : WSC/WSN ..... | 31 |
| Figure 13. Type d'agriculture pratiquée par les répondants.....  | 32 |
| Figure 14. Nuage de mots autour de la thématique de la qualité des sols.....   | 33 |
| Figure 15. Répartition des cotes sur 10 données par les agriculteurs à la nécessité de protéger la vie, la structure et la matière organique du sol.....                               | 34 |
| Figure 16. Origine des problèmes de qualité des sols d'une manière générale (A) et au sein des parcelles des agriculteurs interrogés (B).....  | 36 |
| Figure 17. Emploi des techniques liées aux cultures.....   | 38 |
| Figure 18. Choix des techniques de travail du sol.....   | 38 |
| Figure 19. Choix des produits phytosanitaires employés .....   | 39 |

# LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1. Tableau récapitulatif des caractéristiques des trois types d'agriculture abordés dans ce travail. .... | 4  |
| Tableau 2. Quantité moyenne de fertilisants ajoutés par hectare en 2017 en Wallonie .....                         | 9  |
| Tableau 3 . Teneurs en carbone organique des sols (SOC) sous cultures* en Wallonie. ....                          | 10 |
| Tableau 5. Doses de fertilisants employées par hectare sur les parcelles ValBiom.....                             | 17 |
| Tableau 4. Présentation du plan expérimental du projet transae .....  | 18 |
| Tableau 6. Distinction des groupes de parcelles ABC selon les valeurs moyennes de MBC, HWC, WSC .....             | 25 |
| Tableau 7. Distinction des groupes de parcelles ABC selon les valeurs moyennes de MBN, HWN, WSN .....             | 27 |

|  |    |
|--|----|
| Tableau 8. Observations réalisées par les agriculteurs pour évaluer la qualité du sol de la parcelles et fréquence de ces observations ..... | 35 |
| Tableau 9. Perception de l'agriculture biologique et de l'agriculture de conservation par les agriculteurs .....                             | 37 |

## LISTE DES ANNEXES

Annexe Ia : Liste des échantillons, sites et techniques de travail appliquées sur les parcelles du projet Transae.

Annexe Ib: Itinéraire technique des sites BC, CH, CS, HFB, HFC, JM, LB, LL, PM, VR

Annexe II : Plan de traitement de la parcelles Grendel, projet Perséphone (ValBiom)

Annexe III : Formulaire d'enquête à destination des agriculteurs : pratiques culturales et qualité des sols

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

AB : Agriculture Biologique

AC : Agriculture de Conservation

EEW : État de l'Environnement Wallon

FAO : organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food Agriculture Organisation)

HWC : carbone extrait à l'eau chaude (Hot Water Extractable Carbon)

HWN : azote extrait à l'eau chaude (Hot Water Extractable Nitrogen)

LOI : matière volatile en suspension (Loss On Ignition)

MBC : carbone microbien (microbial biomass C)

MBN : azote microbien (microbial biomass N)

PPP : Produits Phytopharmaceutiques de Synthèse

SOC : carbone organique des sols (Soil Organic Carbon)

SOM : matière organique du sol (Soil Organic Matter)

SPW : Service Publique de Wallonie

TCS : Techniques Culturales Simplifiées

WSC : carbone extrait à l'eau froide (Water Soluble Carbon)

WSN : azote extrait à l'eau froide (Water Soluble Nitrogen )



## Préambule

Initialement, le présent travail devait s'articuler autour de la qualité biologique des sols dans des systèmes d'agriculture biologique et de conservation, à partir d'échantillons de sols récoltés dans les parcelles du projet Transae, réalisé conjointement par Greenotec et le CRA-W. L'épidémie de coronavirus ayant empêché tout travail de terrain, de laboratoire et de visite au sein des locaux de Greenotec ou du CRA, nous avons décidé de nous concentrer durant cette période sur l'aspect social du travail en construisant une enquête à destination des agriculteurs. Le temps disponible a également été mis à profit pour développer l'introduction en étoffant la théorie sur les pratiques agricoles en milieu cultural. Début juin, alors qu'il n'était pas encore certain que l'échantillonnage pourrait être organisé, nous avons eu l'occasion de travailler sur des échantillons de sols de prairie de fauche (projet Perséphone, échantillons fournis par ValBiom et Agra-Ost) et nous avons été autorisés à utiliser les données obtenues pour le mémoire. L'échantillonnage du projet Transae a finalement été réalisé mi-juin, et il a été décidé d'effectuer certaines des analyses du sol initialement prévues. Ainsi, ce travail s'articule en trois volets : effets de différents fertilisants sur la qualité biologique des sols (projet Perséphone), qualité biologique des sols dans des systèmes d'agriculture biologique et de conservation (projet Transae), et étude du lien entre la perception de la qualité des sols et les pratiques agricoles par les agriculteurs.

## 1. Introduction

L'agriculture joue un rôle essentiel dans le développement de nos sociétés, puisqu'elle est la principale source de nourriture pour la population mondiale croissante. Bien que les pratiques agricoles soient en constante évolution depuis plus d'un millénaire, l'agriculture moderne s'est surtout développée au siècle dernier, lors de la prise de conscience du rôle majeur des nutriments dans la croissance et la production des cultures (Schønning et al., 2004). Après la seconde guerre mondiale, l'Europe entre dans une phase appelée « révolution verte » (Finlay, 2013), où les avancées scientifiques permettent d'envisager les sélections et modifications génétiques des plantes, ainsi que l'emploi des produits phytosanitaires et des fertilisants synthétiques comme les nouveaux moteurs de la production agricole. A partir des années 50, l'agriculture s'intensifie, notamment grâce à une mécanisation croissante et toujours plus performante. Ainsi, les productions agricoles entre la naissance de l'agriculture et notre époque passent de 0.7t/ha au Moyen Age à 7t/h en 2015 (P. Baret, *communication personnelle*<sup>1</sup>). De plus, l'industrie agro-alimentaire joue à présent un rôle fondamental dans la qualité de vie et la croissance économique des pays (Ollivier, 2018). Ainsi, le processus d'intensification agricole, commencé lors de la révolution verte, est aujourd'hui capital à la sécurité alimentaire puisqu'on estime qu'il faut doubler la production alimentaire mondiale d'ici 2050 (Lal, 2009).

Cependant, l'augmentation de la production alimentaire permise lors de cette révolution conduit également à bon nombre de conséquences négatives au niveau environnemental (Migliorini et al., 2018). En effet, les pratiques d'agriculture modernes résultent en un paysage et en une structure des terres agricoles simplifiés, et une perte importante de biodiversité (Thrall, 2011). De plus, l'usage intensif du sol est destructeur. Or, le sol est une ressource non renouvelable : sa perte et sa destruction ne sont pas récupérables à l'échelle d'une durée de vie humaine (FAO, 2015). La santé, la fertilité et la biodiversité du sol sont les piliers d'une agriculture robuste en termes de production et de stabilité dans le temps. C'est pourquoi il est important de surveiller la qualité des sols agricoles et d'adapter les pratiques pour les rendre plus durables et de limiter les risques de pénuries, qui auraient des conséquences dramatiques. Ainsi, une des clés de la sécurité alimentaire réside peut-être dans l'emploi de pratiques agricoles qui se veulent plus respectueuses de la nature et de sa biodiversité (Karlen et al., 2004). Dans cette étude, nous nous intéressons à l'effet de différents fertilisants sur la qualité du sol d'une prairie de fauche permanente. Nous utilisons également différents indicateurs de la qualité des sols afin d'établir les caractéristiques de plusieurs parcelles au commencement d'une conversion en agriculture biologique et de conservation. Une répétition des mesures sur le long terme permettra d'observer comment le changement des pratiques affecte la qualité du sol agricole. En parallèle, ce travail s'intéresse aussi à l'importance de la perception de la qualité des sols par les agriculteurs lors du choix de leurs pratiques culturales.

---

<sup>1</sup> Faculté de bio-ingénieur, UC Louvain, lors de sa conférence « Introduction sur l'agroécologie donnée lors de l'assemblée générale de Greenotec, 12 février 2020

## 1.1 L'agriculture en Wallonie

### 1.1.1 Les régions agricoles wallonnes

La Belgique présente une grande variabilité dans la composition et la structure des sols, ce qui mène à des potentiels agro-économiques hétérogènes à l'échelle du territoire. On y dénombre 14 régions agricoles (Figure 1), dont 10 sont situées en Wallonie (Bellayachi et al., 2017). La Famenne, la Campine hennuyère ainsi que la région limoneuse et sablo-limoneuse sont caractérisées par des cultures de céréales. L'Ardenne et la Haute Ardenne sont majoritairement recouvertes de forêts. En région herbagère, jurassique et dans le Condroz, on retrouve une grande superficie de prairies et cultures fourragères et céréalières (Bergans et al., 1988). Enfin, la région des Fagnes est la plus haute de Belgique et abrite des tourbières, forêts et prairies.



FIGURE 1. REGIONS AGRICOLES EN WALLONIE. D'APRES LE RAPPORT DE L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON DE 2017 (BELLAYACHI ET AL., 2017 ; SPW-DGO 3)

### 1.1.2 Les prairies de fauche agricoles

En Wallonie, près de la moitié de la superficie agricole utile est occupée par les prairies (Knoden et al., 2007), pâturées ou fauchées. Une prairie de fauche est un milieu herbacé dont la gestion est réalisée à l'aide d'outils mécaniques, principalement dans le but de produire du foin (Hauteclair, 2010). On y retrouve majoritairement des graminées, favorisées par le fauchage, mais également des plantes à fleurs dont les assemblages caractéristiques permettent d'évaluer la qualité biologique et écologique de la prairie. La diversité botanique des prairies dépend de la composition des sols, du degré d'humidité des sols ainsi que de la fréquence de fauche et du type de fertilisation. Ainsi, la fertilisation azotée des prairies est nécessaire pour une augmentation de la productivité, mais elle a pour conséquence de diminuer la richesse spécifique de la parcelle (Socher et al., 2012). La fertilisation des prairies se fait par épandage de lisier, fumier, apport via légumineuses fixant l'azote atmosphérique, retour de pâturage ou encore fertilisation minérale. Le projet Perséphone vise à promouvoir l'emploi de digestat comme fertilisant et ainsi de 'valoriser' les résidus du processus de biométhanisation. Le digestat est un produit homogène et stabilisé issu de la méthanisation des matières organiques, processus qui permet de produire de l'énergie sous forme de méthane et qui transforme une majorité de l'azote en azote minéral ( $\text{NH}_4$ ), forme préférentielle d'assimilation des plantes (Ghani et al., 2006; Naskeo, 2015). Cependant, ce processus transforme aussi une partie du carbone facilement dégradé en  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$  (biogaz), ce qui les rend inaccessible aux micro-organismes (Valbiom &

Edora, 2012). Ainsi, on peut se demander si l'apport de digestat affecte les prairies différemment de l'apport de lisier ou de nitrate d'ammonium.

### 1.1.3 Les pratiques culturales en Wallonie

Les surfaces agricoles occupent la moitié de la Wallonie (SPW, 2019b) et sont sujettes à de nombreuses pratiques, qui peuvent être complémentaires. Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrons principalement sur 3 types de pratiques répandues en Wallonie, dont les caractéristiques sont reprises dans le Tableau 1. En agriculture "conventionnelle", l'objectif principal est d'avoir un rendement en perpétuelle augmentation, notamment grâce à l'apport de fertilisants minéraux et/ou organiques, tout en utilisant le travail du sol et les produits phytosanitaires pour lutter contre les adventices et les parasites de culture. On observe cette pratique dans nos campagnes depuis les années 1920, surtout depuis la révolution verte (Migliorini et al., 2018). Ensuite, "l'agroécologie", aussi appelée "agriculture écologiquement intensive" vise à augmenter à la fois les rendements des cultures et la qualité de l'exploitation. L'agriculture dite « de conservation », où les agriculteurs réduisent au maximum le travail du sol, est une des pratiques les plus répandues de l'agroécologie. Enfin, citons l'agriculture "biologique", où, par le biais de la certification (SPW, 2019c), les agriculteurs s'engagent à se passer totalement des intrants chimiques, tout en pratiquant le travail du sol de leur choix. Ces pratiques coexistent et se complètent en étant plus ou moins répandues en fonction des époques et des régions. L'agroécologie est apparue au début du XX<sup>ème</sup> siècle, mais a rapidement été négligée au moment de la révolution verte, avant de revenir sur le devant de la scène à côté de l'agriculture biologique dans les années 1990 (Migliorini et al., 2018). Toutefois, le choix de la pratique employée dépend beaucoup des régions agricoles et du type de sol rencontré (Virto et al., 2015).

TABLEAU 1. TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES TROIS TYPES D'AGRICULTURE ABORDES DANS CE TRAVAIL.\*

|                                    | <b>Travail du sol</b>               | <b>Utilisation de fertilisants synthétiques</b> | <b>Utilisation de fertilisants organiques</b> | <b>Utilisation de produits phytopharmaceutiques</b> | <b>Certification</b> |
|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|----------------------|
| <b>Agriculture conventionnelle</b> | Labour                              | Oui   | Oui   | Oui   | Non                  |
| <b>Agriculture de conservation</b> | Travail superficiel ou semis direct | Oui   | Oui   | Oui   | Non                  |
| <b>Agriculture Biologique</b>      | Labour                              | Non   | Non   | Non   | Oui                  |

\*Les informations données dans ce tableau sont d'une nature générale : il est tout à fait possible pour un agriculteur considéré comme « conventionnel » de pratiquer le semis direct sur certaines parcelles, tout comme un agriculteur labellisé en AB peut choisir de limiter son travail du sol. Il en va de même pour les choix de fertilisants.

#### 1.1.4 L'agriculture conventionnelle

Il n'est pas aisé de définir l'agriculture conventionnelle, car les pratiques varient parfois fortement d'une exploitation à l'autre. Nous considérons ici comme conventionnelles les pratiques mêlant la fertilisation chimique, l'emploi de produits phytopharmaceutiques de synthèse (PPP) et le travail du sol en profondeur via le labour. Cependant, bien que l'agriculture conventionnelle soit souvent associée au modèle intensif faisant usage de grandes quantités de PPP, de nombreux agriculteurs « conventionnels » font le choix de réduire l'utilisation de ces produits de façon à obtenir un compromis entre objectifs de production et idéaux écologiques (Le Campion et al., 2020). Les principaux PPP employés sont les herbicides, fongicides et insecticides, mais d'autres produits peuvent également être employés : molluscicides, rodenticides et régulateurs de croissance par exemple. Les traitements phytosanitaires sont systématiques sur certaines cultures comme le colza, tandis que d'autres céréales peuvent avoir des traitements plus légers. Par exemple, le traitement fongicide du blé peut être décidé en fonction de la sortie des feuilles de la céréale, avec deux traitements préventifs permettant éventuellement de se passer de traitements additionnels (Bousquet, 2019). La gestion des adventices et d'autres repousses indésirables s'effectue grâce à l'application d'herbicides et par le travail du sol à la charrue. En effet, le labour est utilisé pour enfouir les graines d'adventices et les résidus des cultures précédentes dans le sol. Le travail du sol est également utilisé pour modifier la structure du sol, en supprimant par exemple les zones de tassement qui ont pu être produites lors d'un précédent passage d'une machine lourde (Hobbs, 2007).

#### 1.1.5 L'agroécologie et l'agriculture de conservation

##### 1.1.5.1 Les piliers de l'agroécologie

L'agroécologie est un courant de pensée qui vise à faire évoluer les pratiques agricoles ainsi que le secteur agro-alimentaire en fonction des connaissances agronomiques et écologiques, en se basant sur les données scientifiques et sur l'expérimentation (Dumont et al., 2020). Le but de ces adaptations est de maintenir une bonne production agricole sur le long terme tout en limitant les risques économiques, sociaux et environnementaux (Altieri, 1995). Il existe aujourd'hui dans la littérature de nombreuses définitions de l'agroécologie : les plus strictes sont centrées sur les cultures et en particulier les relations proies/prédateurs ou la compétition cultivar/mauvaise herbe, tandis que les plus ouvertes tiennent compte des facteurs sociaux tels que l'indépendance financière, les partenariats entre producteurs et consommateurs, ainsi que l'échange de savoir entre agriculteurs et scientifiques (Dumont et al., 2014; Dumont et al., 2020). Ainsi, dès les années 1970, les chercheurs ont étudié les mécanismes de lutte contre la prédation et la compétition, en se basant sur les ressources renouvelables et les caractéristiques structurales et écologiques des régions les plus favorables aux cultures. En effet, le choix des espèces cultivées et l'adaptation de l'utilisation des PPP permet de laisser une plus grande place aux espèces synergiques des cultures ainsi qu'aux parasitoïdes des ravageurs (Rosillon et al., 2015). De plus, les études sur le développement rural montrent que les choix agronomiques des agriculteurs dépendent bien souvent de facteurs directement liés aux conditions de travail, aux subsides et aux perceptions des risques (Altieri, 1995; Kohler et al., 2014; Sigwalt et al., 2012).

### 1.1.5.2 L'agriculture de conservation et les Techniques Cultureles Simplifiées

L'agriculture de conservation, une pratique agroécologique, a été définie par la FAO en 2011 comme reposant sur trois grands principes : couverture maximale des sols, absence de labour profond, rotations de cultures longues avec diversification des espèces cultivées (Mollier, 2013). Ces trois principes sont supposés être appliqués simultanément car la couverture du sol et la diversification des rotations permettent de limiter la pousse des adventices en absence de labour.

La suppression du labour n'empêche pas un certain travail du sol ; c'est pourquoi les agriculteurs se tournent vers les « Techniques Cultureles Simplifiées (TCS) » qui permettent un travail du sol très superficiel (< 15 cm de profondeur). Ce travail superficiel semble limiter l'érosion, tout en ayant un effet positif sur l'activité des vers de terre (Van den Putte et al., 2012). De même, la couverture permanente permet de maintenir l'humidité du sol en limitant l'évaporation, et un travail superficiel du sol facilite l'infiltration de l'eau. Enfin, les semis directs sur couvert végétal sont effectués avec un semoir à griffe ou un semoir à dents, qui vient aérer la couche supérieure du sol. Il est important de s'assurer que les nutriments sont toujours présents de manière optimale, c'est pourquoi les agriculteurs pratiquant les TCS continuent d'ajouter des intrants azotés organiques et minéraux. De plus, le pool de matière organique du sol s'enrichit par les résidus de cultures et des couverts végétaux employés (Lal, 2009), ainsi que par l'épandage de fumier ou de lisier sur les cultures. Enfin, le choix des couverts végétaux permet de s'orienter vers des espèces fixatrices de l'azote atmosphérique comme les pois ou les fèves, qui permettent l'enrichissement de sol en azote (Ostergard et al., 2009). De même, il est important de limiter le phénomène de compaction du sol. Ainsi, le choix des espèces utilisées dans les couverts végétaux permettra d'avoir un travail du sol variable, avec diverses tailles de racines et une extension de celles-ci en surface ou en profondeur. On estime aujourd'hui en Wallonie que les TCS sont appliquées dans 15 à 20% des surfaces cultivées en blé d'hiver et 10% des autres surfaces cultivées (Vankeerberghen & Stassart, 2016).

### 1.1.6 L'agriculture biologique (AB)

La réglementation européenne mise en place depuis 1992 définit la production biologique comme « un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence de certains consommateurs à l'égard de produits obtenus grâce à des substances et à des procédés naturels » (SPW, 2019c). En termes de pratiques agricoles, la principale différence entre l'agriculture conventionnelle et l'agriculture biologique (AB) est la suppression des PPP et des engrais de synthèse (Hardy, 2019). En conséquence, les agriculteurs optent pour une gestion différente de la fertilité et trouvent de nouvelles méthodes pour lutter contre les adventices et les ravageurs. Ainsi, les pratiquants de l'AB se limitent à la fertilisation organique avec l'épandage des résidus de végétaux, de lisier et de fumier et favorisent les successions culturales permettant un recyclage optimal des nutriments. Les travaux menés par Hardy (2019) mettent en avant une teneur en matière organique plus élevée dans les sols exploités avec des pratiques d'AB que ceux exploités de manière conventionnelle. Par exemple, en Wallonie, les fermes en AB ont une teneur en matière organique 60% supérieures aux valeurs médianes des fermes en agriculture conventionnelle qui sont répertoriées dans la base de données REQUASUD. En outre, il semble que les pratiques d'agriculture

biologique ont un effet global positif sur l'abondance et l'activité des communautés microbiennes du sol (Lori et al., 2017). Selon le rapport Biowallonie de mai 2019 (Baudelot & Mailleux, 2019), 14% des fermes wallonnes et 11% des surfaces agricoles wallonnes sont cultivées en AB.

## 1.2 Impacts des pratiques agricoles sur les sols

En Wallonie, diverses menaces pèsent sur les sols : compaction, imperméabilisation, perte de carbone organique et pollution (Glæsner et al., 2014). Dans le secteur agricole, le sol est le support de base de toute pratique : il est exploité pour les cultures, les pâtures et sert de support aux infrastructures.

### 1.2.1 Perturbations physiques

#### 1.2.1.1 Conséquences de la gestion du paysage

Les données cartographiques et les photographies aériennes rendent compte des importantes modifications subies par le sol, dont l'utilisation conduit à la transformation de nombreuses forêts et prairies en terres cultivées. Ainsi, on observe le passage d'un paysage agricole morcelé en nombreuses petites parcelles diversifiées dans les années 50 à de vastes parcelles de monocultures dans les années 2000 (Figure 2). De plus, les politiques gouvernementales soutiennent ces modifications de pratiques et participent aux changements massifs paysagers qui prennent place dans les campagnes, notamment via les intenses remembrements de parcelles ayant eu lieu entre 1960 et 1980 (Rieucau, 1962).



FIGURE 2. VUES AERIENNES DE LA COMMUNE D'OGY-MONTOY-FLANVILLE (57 530, LORRAINE, FRANCE). A GAUCHE, VUE DANS LES ANNEES 50 ET A DROITE, VUE EN 2015. LA ZONE ROUGE MET EN EVIDENCE UNE CONSEQUENCE DU REMEMBREMENT, LA CONVERSION DE PATCHS VARIES EN CULTURES DE PETITE SURFACE EN GRANDES MONOCULTURES. (IMAGES : PRESENTATION PROJ'HAIE, JP WEISSE)

#### 1.2.1.2 Conséquences de l'utilisation des machines agricoles

Le passage de machines agricoles toujours plus lourdes a un effet mécanique sur le sol et peut provoquer une compaction de celui-ci. La structure du sol dépend de l'agencement dans l'espace de ses constituants, déterminé par la forme de ses plus petits éléments indivisibles, ou agrégats. Cependant, le comportement du sol est élastique jusqu'à un certain seuil, intrinsèquement lié aux caractéristiques du sol, au-delà duquel la porosité ne peut plus être restaurée par le réarrangement des constituants (Bellayachi et al., 2017). La compaction joue un rôle déterminant dans la productivité, car elle peut être un véritable frein à la croissance des cultures. En effet, elle impacte la perméabilité du sol et sa capacité à maintenir l'eau. De plus, le développement des tiges et des racines ainsi que l'activité biologique sont freinés dans les sols trop compactés. En conséquence, le volume de sol que les plantes peuvent explorer est réduit, et l'accès aux nutriments et à l'eau devient plus difficile, ce qui rend les cultures plus fragiles en cas de compétition avec des adventices (Reeve et al., 2016). Il est possible de limiter la compaction de surface grâce au labour, mais la compaction profonde ne peut pas être évitée en dessous d'une trentaine de centimètres, où un horizon compact appelé « semelle de labour » peut se former.

#### 1.2.1.3 Conséquences du labour

Le labour est traditionnellement pratiqué pour préparer les semis en fragmentant le sol, ce qui facilite son réchauffement (Julien SENEZ, *communication personnelle*<sup>2</sup>) et l'introduction future d'intrants chimiques ou de fumier. De plus, le labour permet de limiter la pousse des adventices et des hyphes des champignons naturellement présents dans le sol et risquant de s'attaquer aux racines des cultures (Alabouvette et al., 2004). Le sol peut être ouvert à diverses profondeurs, allant de 10 à 15 cm pour le labour dit « léger » à 30 à 40 cm pour le labour dit « profond », et ce en fonction du type de culture effectué ensuite. Bien que ce travail du sol permette de mieux répartir les complexes argilo-humiques, il abîme la structure de la couche arable du sol. De plus, un sol labouré est plus sensible à l'érosion : les taux annuels d'érosion sur les sols labourés varient entre 2 et 4 t/ha en Belgique (Virto et al., 2015). En 2015, 35% du territoire Wallon dépassait le seuil critique d'érosion hydrique de 5 t/ha, au-delà duquel l'érosion est considérée comme non-soutenable, soit incompatible avec le maintien à long terme des fonctions du sol (Bellayachi et al., 2017). En outre, le passage de la charrue abîme également les galeries profondes des lombrics anéciques et les fait remonter à la surface, ce qui les expose aux prédateurs (Morelle & Braibant, 2018).

#### 1.2.2 Perturbations chimiques

##### 1.2.2.1 Problématiques liées à la fertilisation

Les plantes puisent les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance dans le sol, ce qui implique que les monocultures répétées peuvent provoquer un appauvrissement du milieu. En conséquence, l'emploi de fertilisants est courant (Tableau 2) pour apporter des nutriments dans les sols pauvres et

---

<sup>2</sup> Agriculteur expert du centre de formation Kiwi Agronomy, lors de son intervention pendant l'assemblée générale de Greenotec, 12 février 2020



de garantir une meilleure croissance des plantes (Karlen et al., 2004). En agriculture, les principaux intrants de synthèse employés sont les engrais minéraux potassiques ( $K_{min}$ ), phosphatés ( $P_{min}$ ) ou azotés ( $N_{min}$ ). Une partie des nutriments ajoutés peut être lessivée. Ainsi, on observe que la teneur en nitrates dans les eaux qui percolent sous la zone racinaire est supérieure au seuil du critère de pollution des eaux par le nitrate ( $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ ) sur 7% du territoire Wallon (Bellayachi et al., 2017). De même, lors de la fertilisation au lisier, une part importante de l'azote ne sera pas intégrée au sol mais perdue par volatilisation. Il semble également que certains éléments indésirables puissent être apportés au sol lors de la fertilisation : le cadmium via les engrais phosphatés et le cuivre, le nickel ou le zinc via les engrais organiques (Piazzalunga, 2012). Enfin, les éléments en surplus risquent de perturber les cycles biogéochimiques naturels ou provoquer l'eutrophisation de milieux aquatiques (Biau, 2012).

La physiologie, la diversité et la structure des communautés microbiennes sont affectées par les rotations de cultures, ainsi que par la fertilisation (Guo et al., 2020). D'une part, une fertilisation organique limitée semble améliorer l'activité biologique du sol, ainsi que la disponibilité du carbone et de l'azote (Cui et al., 2018; Lori et al., 2017). Ainsi, on peut noter que la diversité spécifique mesurée des communautés des bactéries et de champignons du sol est supérieure dans les cultures où le labour est réduit et où du fumier est épandu (Legrand et al., 2018). D'autre part, une quantité trop importante de fertilisants organiques ou l'emploi de fertilisants minéraux affecte négativement les communautés microbiennes en réduisant significativement la diversité et l'abondance des différentes espèces (Guo et al., 2020; Seghers, 2003).

En ce qui concerne les communautés de vers de terre, il semble que l'apport d'engrais d'origine animale leur soit bénéfique sur le long terme, tandis que les engrais minéraux sont très probablement toxiques (Biau, 2012).

TABLEAU 2. QUANTITE MOYENNE DE FERTILISANTS AJOUTES PAR HECTARE EN 2017 EN WALLONIE

| Fertilisant                  | $N_{min}$ (N)      | $P_{min}$ ( $P_2O_5$ )               | $K_{min}$ ( $K_2O$ )             |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Forme d'apport               | Nitrate: $NO_3^-$  | Phosphate de calcium: $Ca_3(PO_4)_2$ | Chlorure de potassium : KCl      |
|                              | Ammonium: $NH_4^+$ | Phosphate d'ammonium: $(NH_4)_3PO_4$ | Sulfate de potassium : $K_2SO_4$ |
|                              | Urée: $CO(NH_2)_2$ |                                      | Nitrate de potassium : $KNO_3$   |
| Quantité par hectare (kg/ha) | 96.4 kg /ha        | 11.4 kg/ha                           | 29.9 kg/ha                       |

Les quantités moyennes présentées correspondent à la masse de fertilisant (en équivalent N, P,K) ajoutée par hectare de surface agricole utile. (SPW, 2019a)

### 1.2.2.2 Carbone organique

Les micro-organismes décomposent la matière organique du sol (SOM) et participent ainsi à la circulation des nutriments dans les milieux agricoles (Li, 2018). Or, le constituant principal de cette matière est le carbone organique (SOC) et joue un rôle majeur dans la fertilité du sol et la productivité des cultures tout en étant le plus large réservoir de carbone terrestre. Bien que certaines pratiques agricoles comme l'ajout de fumier ou de lisier favorisent l'augmentation de SOC (Li, 2018), la tendance

générale semble pointer vers une diminution du SOC dans les sols agricoles wallons, s'approchant dangereusement du seuil critique de 1.15% de SOC établi pour les régions agricoles (Trigalet et al., 2017). En effet, on a mesuré entre 1995 et 2005 une perte en SOC de 0.12 t/ha/an (Virto et al., 2015) due à la perte de stabilité du sol et à l'érosion. Le rapport de l'État de l'Environnement Wallon indique une teneur en SOC de 1.3% pour les sols sous cultures dans la période 2004-2014 (Tableau 3 ) et montre une diminution moyenne de 20% de la teneur en SOC des sols Wallons. Cependant, bien qu'on possède des informations précises sur la quantité de SOC et son évolution, ceci ne reflète pas la quantité de carbone réellement disponible pour les organismes du sol, qui est beaucoup moins bien renseignée.

TABLEAU 3 . TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE DES SOLS (SOC) SOUS CULTURES\* EN WALLONIE.

| Régions agricoles | n**    | Teneur en SOC (%) |      |      | Évolution entre les périodes 1949-1972 & 2004-2014 |
|-------------------|--------|-------------------|------|------|--|
|                   |        | MOY               | P25  | P75  |  |
| Sablo-limoneuse   | 8 714  | 1.14              | 1.00 | 1.20 | -12%   |
| Limoneuse         | 19 694 | 1.22              | 1.02 | 1.30 | -13%   |
| Campine hennuyère | 2      | 1.20              | 1.10 | 1.30 | Non significatif                                   |
| Condroz           | 7399   | 1.42              | 1.20 | 1.60 | -5%  |
| Famenne           | 1011   | 1.75              | 1.30 | 2.05 | -6%  |
| Fagne             | 78     | 1.73              | 1.28 | 2.20 | Non significatif                                   |
| Herbagère         | 639    | 2.21              | 1.60 | 2.70 | Non significatif                                   |
| Haute Ardenne     | 62     | 3.15              | 2.90 | 3.38 | -20%   |
| Ardenne           | 524    | 3.20              | 2.70 | 3.60 | -11%   |
| Jurassique        | 213    | 1.78              | 1.20 | 2.09 | -11%   |
| Toutes            | 38 336 | 1.30              | 1.04 | 1.40 | -20%   |

Tableau repris d'après Chartin et al., 2015,2017, publié dans le rapport de l'État de l'Environnement Wallon 2017 (Bellayachi et al., 2017). MOY correspond à la valeur moyenne, P25 à la valeur du premier quartile et P75 à la valeur du dernier quartile.

\*Observations réalisées dans les horizons de surface, données REQUASUD collectées entre 2004 et 2014

\*\* Nombre d'échantillons analysés

### 1.3 Mesures de la qualité des sols

#### 1.3.1 Services écosystémiques fournis par les sols

Le sol peut être défini comme « la couche superficielle du globe composée de substances minérales et de matière organique et qui sert de support à toute activité biologique » (Jeffery et

al., 2013). Le sol est indissociable des activités humaines, grâce aux fonctions et services qu'il procure (Schonning et al., 2004). Ainsi, les services écosystémiques représentent la contribution qu'apportent les écosystèmes au bien-être de l'humanité, et sont classés en 3 catégories principales : production, régulation, services culturels. En effet, le sol permet de produire la biomasse qui nous nourrit, il est le siège de nombreuses transformations et il joue un important rôle de tampon envers la salinité, l'acidité et l'alcalinité (Ostergard et al., 2009). De plus, le sol joue un rôle de support, en soutenant nos structures industrielles et techniques. Le sol est vivant, et se compose d'une importante biomasse microbienne, avec 1 milliard de bactéries par gramme de sol (Riou & Chemildin Prevost-Bourre, 2018) et 1 million de champignons pour une longueur de mycélium de 200 mètres (Selosse, 2017). Le sol abrite également des algues, des protozoaires, des nématodes et de nombreux arthropodes. On y retrouve aussi une mésofaune composée de nombreux vers de terre, de collemboles et d'acariens (Alabouvette et al., 2004). Tous ces organismes ont des rôles essentiels, puisqu'ils participent à la régulation des espèces nuisibles, à la production de biomasse et à la dégradation des polluants (Vincent et al., 2019). Enfin, le sol contient un important stock de matière organique (SOM) issue de matière d'origine animale, végétale ou bactérienne à différents stades de décomposition (Hardy, 2019) et fournissant les nutriments nécessaires à la vie, via l'activité des organismes du sol.

### 1.3.2 Concepts autour de la qualité des sols

Les questionnements autour de la qualité du sol se retrouvent généralement dans les problématiques environnementales, de santé humaine ou lors de recherches sur la productivité biologique (Figure 3). Une définition possible de la qualité des sols est donnée par Karlen et al. (1997), pour qui la qualité des sols est "la capacité d'un certain type de sol à fonctionner, dans les limites des écosystèmes naturels ou gérés, pour maintenir la productivité des plantes et des animaux, maintenir ou améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et soutenir la santé humaine et l'habitation". Dans le cas de notre étude, la qualité du sol est intimement liée à l'utilisation des sols, et on s'intéresse en particulier à la biomasse microbienne et à son activité. Les communautés microbiennes sont importantes pour la minéralisation et l'immobilisation des nutriments utiles aux plantes. Un sol de bonne qualité garantit la présence de ces organismes qui permettent également d'augmenter l'accès des plantes à l'eau et aux nutriments tout en leur permettant de mieux résister aux maladies et aux parasites (Reeve et al., 2016). De plus, nous nous intéressons à la quantité de matière organique et de carbone organique du sol, et on cherche à savoir quelle quantité est réellement disponible pour l'activité des micro-organismes. La quantité de matière organique du sol et la biomasse microbienne sont deux facteurs déterminants de la santé et de la qualité physico-chimique des sols, de par leur influence sur la structure et la compaction des sols (Ostergard et al., 2009). La qualité physique du sol conditionne la pousse des racines, l'accessibilité à l'eau et l'aération au niveau des racines, tandis que la qualité chimique du sol influence la disponibilité des nutriments et donc la croissance et la productivité des cultures (Reeve et al., 2016). Ainsi, les services écosystémiques de production et de régulation dépendent de la qualité du sol agricole et de l'utilisation qui en est faite.

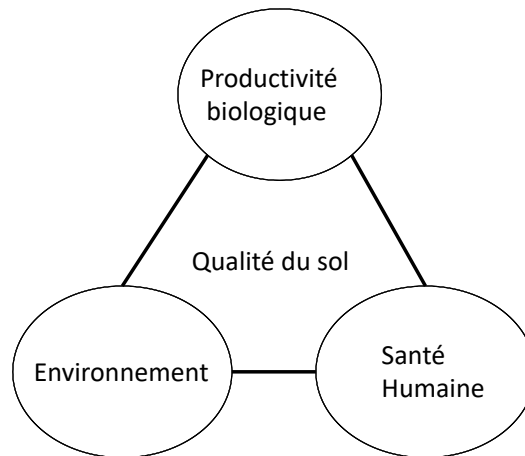


FIGURE 3. LA QUALITE DES SOLS EST LIEE AUX PROBLEMATIQUES ENVIRONNEMENTALES, DE SANTE HUMAINE ET A LA PRODUCTIVITE BIOLOGIQUE. (D'APRES SCHONNING ET AL., 2004 ; ALLAN ET AL.,1995)

### 1.3.3 Indicateurs de qualité des sols

Les méthodes d'évaluation de la qualité du sol se basent généralement sur les propriétés physiques et chimiques du sol (Bispo et al., 2008). Cependant, l'étude complémentaire des organismes du sol (indicateurs biologiques), intervenant directement dans la libération des éléments nutritifs en son sein (Vincent et al., 2019) semble être d'un grand intérêt pour une étude de qualité des sols agricoles. De plus, ces indicateurs vont dépendre des conditions physico-chimiques du sol et des pratiques agricoles, tout en réagissant avec une rapidité bien supérieure à celle du carbone du sol (Krüger et al., 2017), qui peut mettre plusieurs années à répondre aux changements environnementaux. Du fait de leur sensibilité élevée, il est toutefois important de noter que les indicateurs biologiques du sol vont être soumis à une forte variabilité saisonnière, qui sera différente selon l'organisme étudié (Krüger et al., 2018). Ainsi, la qualité des sols agricoles wallons étudiés tiendra compte des paramètres chimiques, des bio indicateurs, et des agrégats du sol.

### 1.3.4 Utilisation du carbone organique du sol comme indicateur

La mesure de la matière organique totale présente dans le sol (SOM) est facile, et elle est fréquemment utilisée comme indicateur de la qualité du sol. Cependant, les changements de SOM sont relativement lents et pourraient indiquer un changement dans le fonctionnement du sol que sur de longues échelles de temps. Ceci est dû au fait que la SOM ne permet pas de rendre compte de la quantité matière organique réellement dégradable, disponible pour l'activité des micro-organismes. Une partie de la matière organique participe à la formation des acides humiques : c'est la fraction récalcitrante (Davet, 1996). De plus, le fractionnement physique des sols agricoles met en évidence des fractions de SOM stables, composées carbone associé aux limons fins et argiles inférieurs à 20 µm et des fractions labiles (où le carbone de s'associe pas), ayant des taux de renouvellement différents (Trigalet et al., 2017). On peut également distinguer la fraction extractible à l'eau froide et la fraction labile extractible à l'eau chaude. L'extraction à l'eau froide permet de connaître la fraction en carbone ou en azote (respectivement WSC et WSN) obtenue après un simple extraction à l'eau (Ghani et al., 2003). Cette fraction comprend des molécules pouvant être lessivées en cas de pluie et par conséquent dépendre des conditions météorologiques précédant le prélèvement. Il est intéressant de noter que les proportions des différents composants protéiques varient dans les fractions d'azote et de carbone extraits à l'eau chaude, rendant le WSN plus biodégradable que le WSC (Zhao et al., 2013). L'extraction à l'eau chaude du carbone et de l'azote (respectivement HWC et HWN) est séquentielle et a lieu après

une première extraction à l'eau froide, rendant ainsi mieux compte de la quantité de carbone réellement contenu dans le sol (Strosser, 2011; Wander, 2004).

Bien que l'intérêt pour les extractions à l'eau froide et à l'eau chaude soit grandissant, la quantité de données disponibles est encore faible et les mécanismes mis en jeu sont souvent incompris. Ainsi, un lien entre la quantité de HWC et la diversité fonctionnelle du microbiote du sol de différentes parcelles a pu être établi (Moche et al., 2015). Cependant, pour un même type de sol, les quantités de SOM et de HWC mesurées varient fortement selon les pratiques agricoles, et on observe des mesures de carbone et de biomasse microbienne plus élevée dans les sols pâturés que dans les sols cultivés depuis longtemps (Curtin et al., 2006; Ghani et al., 2003). En outre, bien qu'il semble y avoir une corrélation positive entre la quantité de HWC et la stabilité des agrégats du sol (Puget et al., 1998), aucun lien fonctionnel n'a pour le moment pu être établi entre ces paramètres. En définitive, peu de liens ont pu être établis entre le HWC et l'activité des micro-organismes du sol jusqu'à présent. On peut ainsi se questionner sur une éventuelle corrélation entre la respiration du sol et les quantités de carbone extraites à l'eau chaude.

La quantité des différents éléments du pool de SOM peut être utilisée comme indicateur de l'activité du sol (Curtin et al., 2006). Ainsi, le ratio carbone/azote est utilisé pour déterminer le ratio entre immobilisation et minéralisation. La disponibilité en azote influence la décomposition de la SOM quand le carbone labile du sol est disponible pour la croissance des micro-organismes. Ainsi, un rapport C/N faible traduit un contenu élevé du sol en azote et une décomposition rapide, alors qu'un rapport C/N élevé traduit une dominance de l'immobilisation nette sur la minéralisation nette de la matière. Ce ratio peut être calculé sur les différentes fractions du pool de matière organique et on peut s'intéresser au lien entre la décomposition de la matière organique et le rapport C/N pour des éléments ayant été extraits à l'eau chaude.

### 1.3.5 Les indicateurs biologiques

Un indicateur biologique peut être défini (Bispo et al., 2008) comme "un organisme ou un processus qui renseigne sur l'état et le fonctionnement d'un écosystème. La qualité de l'indicateur dépend d'une série de caractéristiques que l'organisme doit posséder ». Tout d'abord, celui-ci doit être bien connu en terme biologie, de cycle de vie et de réactions face aux paramètres étudiés. De plus, il doit permettre une mesure fiable et robuste, tout en ayant un coût d'échantillonnage et d'analyse qui soit le plus réduit possible. Ensuite, un bon indicateur doit être lié aux fonctions de l'écosystème (Figure 4), intégrer des propriétés et des processus (physiques, chimiques ou géologiques) du sol et permettre de rendre compte des méthodes de gestion du sol. Ainsi, le type de sol ainsi que son mode de gestion sont les principaux facteurs déterminant la biomasse microbienne des sols (Cluzeau, 2009). En outre, l'abondance en vers de terre et la biomasse microbienne sont associés à la stabilité des agrégats du sol ainsi qu'à la disponibilité des nutriments (Brussaard et al., 2004). Il semble donc intéressant de s'intéresser à la biomasse microbienne et son activité ainsi que d'effectuer un comptage de vers de terre pour obtenir des informations sur la qualité des sols agricoles étudiés.

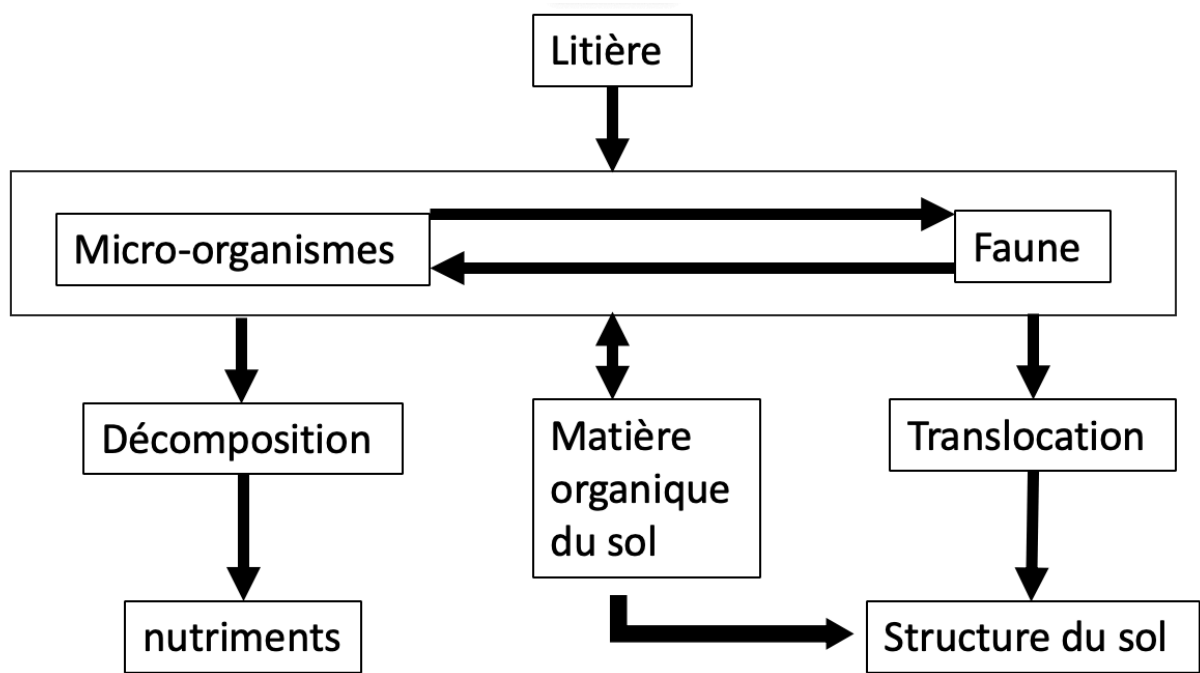


FIGURE 4. RÔLE DES MICRO-ORGANISMES ET VERS DANS LE SOL. LA FAUNE DU SOL TRANSLOQUE ET TRANSFORME LA LITIÈRE ET LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL, INFLUENÇANT LE TURNOVER DES NUTRIMENTS ET LA STRUCTURE DU SOL. (Brussaard et al., 2004; Swift & Wooller, 1993)

### 1.3.6 Utilisation des indicateurs en agriculture

Pour déterminer l'état général de leurs parcelles et avoir une idée de la qualité de leurs sols, les agriculteurs utilisent le plus souvent des indicateurs visuels, tels que la vigueur de la végétation, le nombre de terricules de vers de terres observés, et la facilité de travail du sol par l'outil. Ces observations sont très simples et donnent des informations immédiates sur les parcelles, mais leur interprétation est assez subjective, et les critères utilisés manquent de rigueur pour être intégrés à une recherche scientifique. Il existe d'autres tests pour lesquels on peut établir un protocole, permettant aux agriculteurs de faire leurs observations de manière plus standardisée : installation de pièges pour relever les communautés d'insectes (Tosser & Arvalis, 2018), slake test pour connaître la stabilité du sol (Herrick et al., 2001), test bêche (Ball et al., 2007; Boizard et al., 2012), test de fourche à palette (Tomis et al., 2017) pour dresser un profil du sol. Ces différents tests demandent peu de temps, ils ont un coût faible et ils permettent d'obtenir des renseignements précis sans nécessairement recourir à une aide extérieure pour l'analyse. Enfin, les agriculteurs peuvent également faire analyser des échantillons de terre de leurs parcelles, pour en connaître le taux de matière organique, le contenu en nitrates et le pH. En Wallonie, les analyses agricoles sont effectuées dans les laboratoires du groupe Requasud. En Province de Liège, le laboratoire d'analyses agricoles et environnementales de Tinlot propose toute une série d'analyses des sols. De plus, grâce à leur collaboration avec l'institut provincial Ernest Malvoz, le laboratoire propose également des mesures d'éléments traces métallique. En revanche, les indicateurs biologiques tels que la mesure de la biomasse microbienne et la respiration, qui sont couramment employés dans les études scientifiques de qualité des sols (Williams & Hedlund, 2013, 2014), sont très peu utilisés en agriculture. En Wallonie, le récent projet Carbiosol a réalisé une collaboration avec les laboratoires du groupe Requasud pour élargir leur offres d'analyses aux indicateurs biologiques (Chartin et al., 2019).

## 1.4 Lien entre les pratiques agricoles et la perception de la qualité des sols

La qualité des sols en milieu agricole est étroitement liée à l'utilisation des sols par les agriculteurs et leurs choix de pratiques. Afin d'établir un lien entre les connaissances scientifiques et les pratiques agricoles, il est nécessaire qu'il y ait une collaboration entre scientifiques et agriculteurs. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à la perception de la qualité des sols par les agriculteurs, et comment celle-ci se reflète sur leurs choix culturaux.

La perception de concepts agricoles et environnementaux est peu aisée à documenter, et varie fortement selon les régions et les contextes sociaux et historiques. Par exemple, l'importance de l'impact environnemental des pratiques agricoles sera estimée de manière très différente dans une région où les méthodes de cultures sont orientées dans l'intensification et la compétitivité par rapport à une région où l'agriculture biologique est installée depuis de nombreuses années (Kohler et al., 2014). De plus, il existe des désaccords de certaines pratiques entre le monde agricole et le monde scientifique concernant les perceptions de l'impact sur les sols agricoles (Rudolph et al., 2019). La perception et la quantification de la qualité des sols varie parfois fortement entre les agriculteurs et les scientifiques, ce qui peut être expliqué par l'utilisation d'indicateurs différents (Kelly & Anderson, 2016). D'autres études cependant mettent en évidence que de nombreux concepts liés à la qualité des sols sont jugés d'importance égale pour scientifiques et agriculteurs. Il est possible d'évaluer la

qualité des sols avec deux approches différentes : l'approche qualitative, faisant appel à des indicateurs descriptifs se rapprochant des méthodes d'évaluation des agriculteurs, peut être réalisée en même temps qu'une approche quantitative avec mesures en laboratoire. Dans ce cas, on se rend compte que les résultats obtenus par les deux méthodes sont fortement corrélés (Adeyolanu et al., 2018). Enfin, la connaissance approfondie des sols de leur exploitation et des ressources naturelles locales permet aux agriculteurs d'avoir des pratiques agricoles durables (Gruver & Weil, 2007). Il est donc nécessaire qu'il y ait un échange mutuel de savoirs entre le monde scientifique et les agriculteurs. Ainsi, il peut être intéressant d'interroger les agriculteurs wallons volontaires pour cerner ce que représente pour eux la qualité des sols et comment ils l'intègrent à leurs pratiques. De même, on peut se demander si cette perception de la qualité des sols diffère entre les agriculteurs pratiquant l'agriculture conventionnelle, l'agriculture biologique ou l'agriculture de conservation.

## 1.5 Objectifs

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du projet Transae visant à promouvoir des pratiques agroécologiques en Belgique et en France. Dans ce contexte, l'ASBL Greenotec et le Centre de Recherche Agronomique de Gembloux (CRA) encadrent un groupe d'agriculteurs mettant en place des essais-systèmes d'agriculture biologique et de conservation (ABC) sur des parcelles actuellement exploitées selon des techniques propres aux agriculteurs, en agriculture biologique (AB) ou agriculture de conservation (AC). Le suivi scientifique des parcelles va être effectué pendant au minimum 3 ans et le présent travail intervient lors de la mise en place des parcelles en ABC. De plus, l'acquisition d'échantillons par l'ASBL ValBiom, spécialisée en valorisation de la biomasse, nous permet d'étudier les caractéristiques du sol d'une prairie de fauche sous différents régimes de fertilisation. Ces échantillons ont été récoltés dans le cadre du projet Perséphone visant à valoriser les produits issus des processus de biométhanisation, sur une parcelle où 17 variantes de fertilisation sont appliquées et comparées.

L'objectif général de ce travail est d'analyser l'activité microbienne et les paramètres liés à la qualité des sols de la prairie du projet Perséphone et des sols cultivés du projet Transae ainsi que d'analyser la perception de la qualité des sols chez les agriculteurs en fonction de leurs pratiques.

En particulier, nous souhaitons :

- Déterminer l'effet de quatre fertilisants azotés (deux digestats, lisier, nitrates) sur la biomasse microbienne, les fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau, à partir des échantillons du projet Perséphone.
- Établir la relation entre les fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau et la respiration microbienne, à partir des échantillons du projet Perséphone.
- Estimer les gammes de valeurs de la biomasse microbienne et des fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau dans les parcelles du projet Transae.
- Étudier l'effet de gestion au sein de chaque site du projet Transae
- Étudier le lien entre les pratiques agricoles employées et la perception de la qualité du sol par les agriculteurs.



## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Description des parcelles et échantillonnage

#### 2.1.1 Parcelle ValBiom (projet Perséphone) : effet de différents fertilisants ajoutés.

Les échantillons fournis par ValBiom ont été prélevés dans la parcelle de Grendel, une prairie de fauche permanente située en face de la ferme du Faascht à Attert dans la région agricole jurassique. On y trouve un sol hétérogène avec un substratum calcaire à dominante argileuse où s'intercalent des couches sableuses. La parcelle d'essai (77x26 m, **Annexe II**) a été mise en place en 2013, et 17 variantes de fertilisation y ont été appliquées depuis. 4 répétitions de chaque traitement sont appliquées dans des zones de 20 m<sup>2</sup> (2x10 4m), réparties aléatoirement dans la parcelle et séparés de 0.5 ou 1m. Dans le cadre de cette étude, 4 variantes de fertilisation et un témoin ont été échantillonnés : digestat brut à 230 unités fertilisantes d'azote/ha, digestat brut à 350 unités fertilisantes d'azote /ha, lisier brut à 230 unités fertilisantes d'azote/ha et nitrate d'ammonium à 230 unités fertilisantes d'azote/ha. Pour chaque fertilisation, une dose de 100 unités d'azote est apportée avant la première coupe, puis une dose est ajoutée après chaque coupe selon les quantités présentées au Tableau 4. Un échantillon composite (de 4 prélèvements aléatoires) a été échantillonné dans chaque parcelle via une sonde manuelle, à une profondeur de 15-15 cm.

**TABLEAU 4. DOSES DE FERTILISANTS EMPLOYEES PAR HECTARE SUR LES PARCELLES VALBIOM**

| Traitement                | 1 <sup>ère</sup><br>fertilisation<br>(par ha) | 2 <sup>ème</sup><br>fertilisation<br>(par ha) | 3 <sup>ème</sup><br>fertilisation<br>(par ha) | 4 <sup>ème</sup><br>fertilisation<br>(par ha) |
|---------------------------|---|---|---|---|
| <b>Digestat 230</b>       | 100 u de N                                    | 45 u de N                                     | 40 u de N                                     | 45 u de N                                     |
|                           | 17.2 t de digestat                            | 7.8 t de digestat                             | 6.9 t de digestat                             | 7.8 t de digestat                             |
| <b>Digestat 350</b>       | 100 u de N                                    | 100 u de N                                    | 100 u de N                                    | 50 u de N                                     |
|                           | 17.2 t de digestat                            | 17.2 t de digestat                            | 17.2 t de digestat                            | 8.6 t de digestat                             |
| <b>Lisier brut</b>        | 100 u de N                                    | 45 u de N                                     | 40 u de N                                     | 45 u de N                                     |
|                           | 28.6 t de lisier                              | 12.85 t de lisier                             | 11.4 t de lisier                              | 12.85 t de lisier                             |
| <b>Nitrate d'ammonium</b> | 100 u de N                                    | 45 u de N                                     | 40 u de N                                     | 45 u de N                                     |
|                           | 10 t d'engrais                                | 4.500 kg d'engrais                            | 4.000 kg d'engrais                            | 4.500 kg d'engrais                            |

Chaque case reprend la quantité d'azote en unité d'azote (1 u = 1kg de N par 100 kg de fertilisant) ainsi que l'équivalent en tonnes d'engrais épandu. En moyenne, il y a 5.8 kg de N pour une tonne de digestat et 3.5 kg de N pour une tonne de lisier.

## 2.1.2 Parcelles du projet Transae : différentes façons de travailler le sol

Les parcelles analysées dans le cadre de cette étude sont situées autour de Mons, en région limoneuse, région sablo-limoneuse, et en campine hennuyère. Ces trois régions sont caractérisées par des cultures de céréales. En région limoneuse, on retrouve un sol très fertile qui permet également une bonne production des arbres fruitiers, ainsi que des champs de betteraves et pommes de terre. La campine hennuyère est une petite région de 38 km<sup>2</sup> située au cœur de la région sablo-limoneuse, avec un sol naturellement pauvre.

Une paire de parcelles accolées (une cultivée en ABC et une seconde où la technique appliquée est propre à l'agriculteur) est située au sein de chacun des 12 sites d'étude (Tableau 5). Trois zones d'échantillonnage de 5 ares ont été choisies selon un gradient topographique dans chaque parcelle, et un échantillon composite (10 prélèvements) a été prélevé deux horizons de sols différents (12-24 cm & 30-60 cm de profondeur). L'échantillonnage a eu lieu entre le 10 et le 15 juin, après une courte période de pluie. Le sol prélevé a été mélangé, tamisé à 4 mm et conservé au frigo à 4°C. Les analyses des 72 échantillons ont été effectuées durant les trois semaines suivant le prélèvement. La liste des échantillons, sites, traitements et dates de mise en place se situe dans l'**Annexe Ia**.

**TABLEAU 5. PRESENTATION DU PLAN EXPERIMENTAL DU PROJET TRANSAE**

| Site | ABC * | TCS** | Labour |
|------|-------|-------|--------|
| BC   | x     | x     |        |
| CH   | x     | x     |        |
| CS   | x     |       | x      |
| ER   | x     |       | x      |
| HFB  | x     |       | x      |
| HFC  | x     | x     |        |
| JM   | x     | x     |        |
| LB   | x     | x     |        |
| LL   | x     | x     |        |
| PM   | x     |       | x      |
| RB   | x     | x     |        |
| VR   | x     | x     |        |

Chaque site est travaillé selon deux techniques différentes : Agriculture Biologique et de Conservation\*, Techniques Culturelles Simplifiées \*\* ou Labour classique. Les espèces cultivées, la densité de semis, les techniques de fertilisations peuvent varier selon les exploitations agricoles (**Annexe Ib**).

## 2.2 Analyses effectuées

### 2.2.1 Mesures préliminaires

Le poids sec a été mesuré à partir de 7g de sol frais incubés 4h à 105° C (Allen, 1989), la teneur en matière sèche a été obtenue après le calcul suivant : (poids sec du sol/ poids frais du sol) \*100%.

La capacité au champ (WHC) a été obtenue par détermination volumétrique à travers un entonnoir de Haines où 50 mL d'eau ont été ajoutés à 50 g de sol frais pendant 30 minutes. Le volume

a été mesurée à partir de l'excédent d'eau collectée (Jenkison and Powlson, 1976). Pour les analyses nécessitant une incubation (respiration, biomasse microbienne), l'humidité a été ajustée entre 40 et 60% de la WHC.

La matière organique a été estimée après passage au four à moufle (450°C, une nuit) d'un échantillon de sol sec (adapté selon Schulte & Hopkins, 1996). La LOI a été obtenue à partir du calcul suivant :  $[(\text{poids sec}) - (\text{poids après passage au four à moufle}) * 100] / (\text{poids sec})$

### 2.2.2 Carbone et azote solubles dans l'eau

L'analyse a été réalisée à partir de 5g de sol frais mélangés à 30 mL d'eau distillée et agités 30 minutes à 120 rpm (Ghani et al., 2003; Haynes, 2000). Pour l'extraction à l'eau froide, l'agitation fut directement suivie d'une centrifugation à 3 500 rpm durant 15 min. L'extraction à l'eau chaude a été réalisée à partir de la phase solide récupérée après extraction à l'eau froide, remise en solution dans 30 mL d'eau distillée, agitée 30 min à 120 rpm, incubée 16 heures à 80°C, agitée une seconde fois durant 10 minutes (120 rpm), puis centrifugée 15 minutes (3 500 rpm). Après décantation, pour les deux types d'extraction, le surnageant a été filtré sur disque 0.45 µm (GN-6 Metrice 47 mm MCE Membrane Disc Filter) et analysé avec l'analyseur de TOC Analytik Jena multi N/C 3100 après ajout de 2 gouttes de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Pour les échantillons de ValBiom, la concentration du carbone, de l'azote, et des fractions de nitrate et d'ammonium fut également mesurée par colorimétrie à l'auto-analyseur (Bran Luebbe, SPX Process Equipment). Le rapport C/N obtenu après extraction à l'eau chaude a été calculé à partir des valeurs de HWC et de HWN total obtenu à l'auto-analyseur. Le rapport C/N obtenu après extraction à l'eau froide a été calculé à partir des valeurs de WSC et du WSN total organique, obtenu après soustraction des valeurs de WSN-NNH<sub>4</sub> et WSN-NNO<sub>3</sub> du WSN total obtenu à l'auto-analyseur.

### 2.2.3 Mesure de la biomasse microbienne

Les mesures de biomasse microbienne ont été réalisées à partir d'échantillons de sol frais avec et sans fumigation (Brookes et al., 1985; Vance et al., 1987). Les fumigations au chloroforme ont été réalisées durant trois jours au sein de dessiccateurs mis sous vide d'air. Les échantillons fumigés et non fumigés ont ensuite subi une extraction au K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.5 M, avant d'être filtrés (filtre Whatman 42, 150 mm de diamètre) L'analyse des échantillons fumigés et non fumigés s'est faite à l'analyseur de TOC Analytik Jena multi N/C 3100 après ajout de 1g d'acide phosphorique.

### 2.2.4 Potentiel de respiration

La mesure de respiration microbienne a été effectuée sur les 20 échantillons fournis par ValBiom, en mesurant l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans une bouteille en verre sombre de 250 mL. Les mesures de 4 mL de gaz ont été prélevées après 12 heures d'incubation à 20°C et analysées grâce à un analyseur de CO<sub>2</sub> portable (PPSystems EGM-5). Normalement, les mesures suivantes sont effectuées au bout de 120, 150 et 180 minutes après fermeture des bouteilles. Cependant, en raison d'un incident technique, les mesures ont été effectuées au bout de 120, 210 et 290 minutes. Le potentiel de respiration a été estimé par régression linéaire de la concentration en CO<sub>2</sub> en fonction du temps.

### 2.3 Aspect social : enquête participative

Une enquête participative a été réalisée sur Google Forms (**Annexe III**), en se basant sur divers recherches sur la perception de la qualité des sols et de l'importance de son maintien dans le milieu agricole (Adeyolanu et al., 2018; Dumistrascu & Stefanescu, 2018; Gruver & Weil, 2007; Kelly & Anderson, 2016; Rudolph et al., 2019). L'enquête a été diffusée du 3 mai au 10 juin 2020, via Facebook mais aussi via les canaux de diffusion de Greenotec, du CRA-W, du groupe français Soufflet Agriculture ainsi que de la Chambre d'Agriculture française. L'enquête interroge les agriculteurs sur leur perception de la qualité des sols, leur perception de l'agriculture biologique et de l'agriculture de conservation ainsi que sur leurs pratiques et les raisons qui motivent leurs choix.

### 2.4 Calculs et analyse des données

Les résultats ont été consignés dans des fichiers Excel et les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R studio (version 4.0.2). Les calculs des erreurs-types ont été réalisées grâce au package *sciplot* (1.2-0), les modèles linéaires ont été construits grâce au package *nlme* (3.1-48), les ANOVA et tests de Student ont été réalisés grâce aux fonctions du package *stats* (4.0.2) et analysés à l'aide des packages *car* (3.0-8), *Clplot* (1.0), *MuMIn* (1.43.17) et *multcomp* (1.4-13). Les variables ont été testés pour l'homogénéité des variances avec un test de Levene et la normalité des résidus a été vérifiée graphiquement par un QQplot.

L'effet des fertilisants sur les paramètres mesurés (échantillons Perséphone) a été testé par analyse de variance (ANOVA) et un test post-hoc de Tukey. Les relations entre le potentiel de respiration et les différentes fractions de carbone (MBC, WSC, HWC, SOM) ont été réalisés par modèle linéaire mixte avec une fraction de carbone comme facteur fixe et le traitement comme facteur aléatoire. La comparaison de modèles à pente variable (entre les traitements) et fixe a montré que les derniers étaient les meilleurs (AIC le plus faible). Le  $R^2$  marginal ( $R^2_m$ ), variance expliquée par des effets fixes, et le  $R^2$  conditionnel ( $R^2_c$ ), variance expliquée par des effets fixes et aléatoires, ont été calculés selon Nakagawa et Schielzeth (2013).

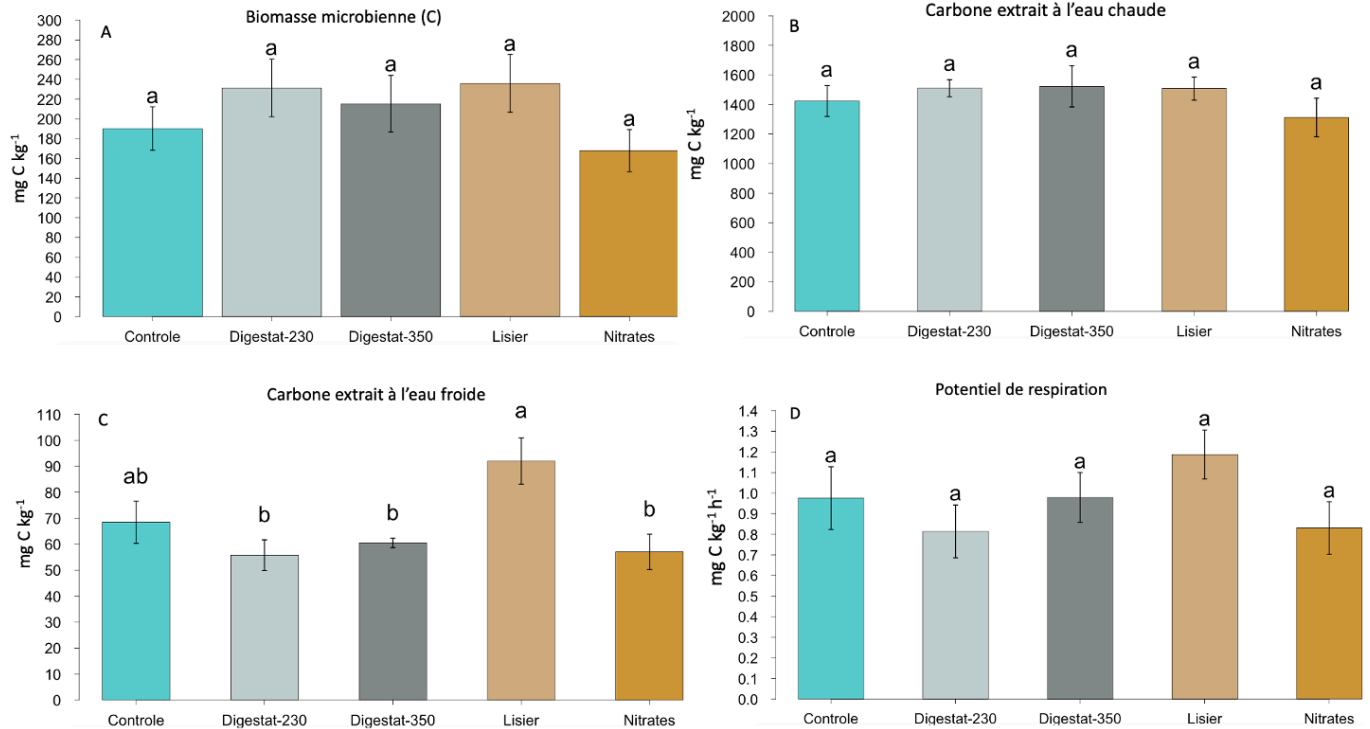
Étant donné que les traitements appliqués dans le projet Transae diffèrent entre tous les sites et que certains traitements n'ont pas encore été implémentés, l'étude de l'effet global d'un traitement est statistiquement impossible. Il a donc été décidé de tester les différences entre les sites pour les parcelles sous gestion ABC par analyse de variance (ANOVA) et un test post-hoc de Tukey. Des différences entre les deux parcelles au sein d'un même site ont été testés par un test T de Student. Les relations entre la biomasse microbienne et les fractions de carbone extraites à l'eau chaude ou froide ont été réalisées par modèle linéaire mixte avec la biomasse microbienne comme facteur fixe et les sites comme facteur aléatoire. A nouveau, les modèles à pente fixe présentaient AIC les plus faibles et les valeurs de  $R^2$  marginal et conditionnel ont été calculées (Nakagawa & Schielzeth, 2013).

Une partie de l'analyse des réponses au questionnaire d'enquête a pu être réalisée directement avec l'outil Google Forms, fournissant des graphiques détaillés par question, et le nuage de mots a été construit sur R, grâce aux packages *SnowballC* (0.70) et *wordcloud* (2.6).

### 3. Résultats

#### 3.1 Effets de fertilisants sur la qualité du sol

##### 3.1.1 Effets de fertilisants sur les fractions de carbone et le potentiel de respiration



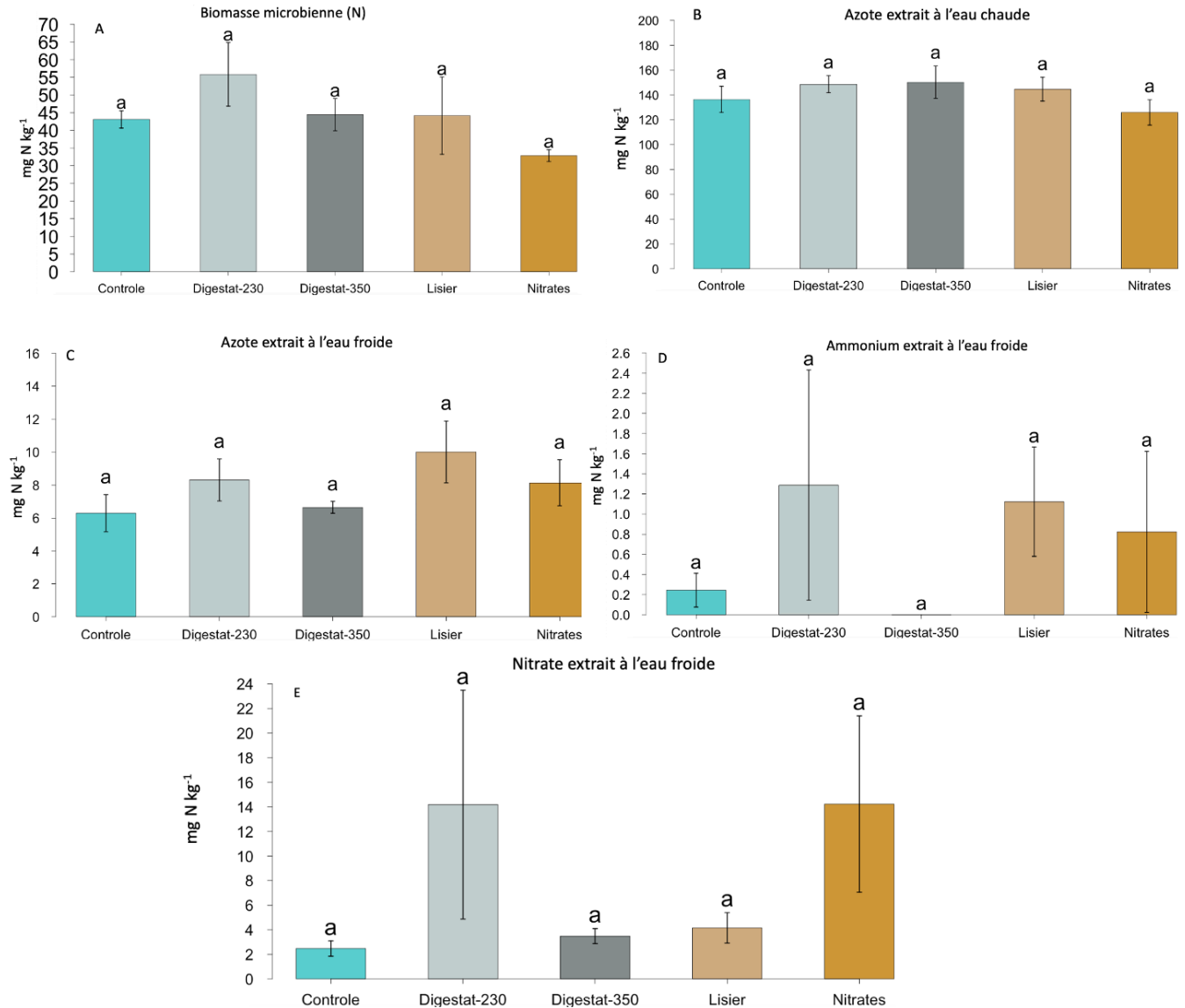
**FIGURE 5. MOYENNES ET ERREURS STANDARD DES FRACTIONS DE CARBONE SOLUBLES A L'EAU ET DU POTENTIEL DE RESPIRATION.**

**A** : CARBONE MICROBIEN (MBC, MG C KG<sup>-1</sup>) ; **B** : CARBONE EXTRAIT A L'EAU CHAUDE (HWC, MG C KG<sup>-1</sup>) ; **C** : CARBONE EXTRAIT A L'EAU FROIDE (WSC, MG C KG<sup>-1</sup>) ; **D** : POTENTIEL DE RESPIRATION (MG C-CO<sub>2</sub> KG<sup>-1</sup>H<sup>-1</sup>). DES LETTRES DIFFERENTES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES TRAITEMENTS (ANOVA, TUKEY, P<0,05).

Les gammes de valeurs du carbone microbien (MBC, Figure 5.A) mesurées se situaient entre 168 et 236 mg C kg<sup>-1</sup> de sol sec. Les gammes de carbone extrait à l'eau chaude (HWC, Figure 5.B) et froide (WSC, Figure 5.C) allaient respectivement de 1312 à 1523 mg C kg<sup>-1</sup> et 56 à 92 mg C kg<sup>-1</sup>. Le potentiel de respiration (Figure 5.D) variait entre 0.81 et 1.2 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>.

Les différents fertilisants appliqués n'ont pas eu d'effet significatif sur le MBC, HWC et le potentiel de respiration. Le WSC était significativement plus élevé dans les échantillons fertilisés au lisier, comparés aux traitements Digestats-230, Digestats-250 et Nitrates (F (4,15) = 4.867, p-valeur = 0.0102).

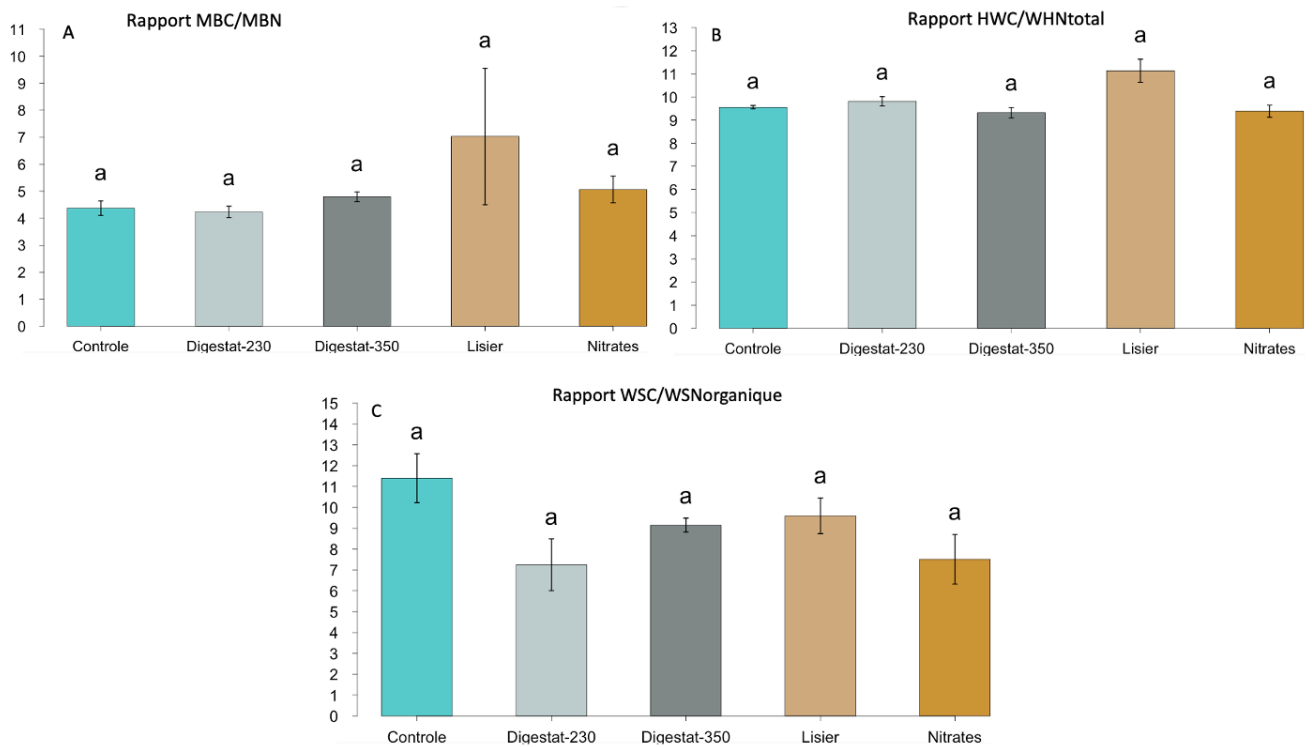
### 3.1.2 Effets de fertilisants sur les fractions d'azote



**FIGURE 6. MOYENNES ET ERREURS STANDARDS DES FRACTIONS D'AZOTE SOLUBLES A L'EAU.** A : VALEURS D'AZOTE ISSU DE LA BIOMASSE MICROBIENNE (MG N KG<sup>-1</sup>) ; B : VALEURS D'AZOTE TOTAL EXTRAIT A L'EAU CHAUDE (MG N KG<sup>-1</sup>) ; C : VALEURS D'AZOTE ORGANIQUE EXTRAIT A L'EAU FROIDE (MG N KG<sup>-1</sup>) ; D : VALEURS DE LA COMPOSANTE AMMONIAQUE (MG N-NH<sub>4</sub> KG<sup>-1</sup>) ; VALEURS DE LA COMPOSANTE NITRATE (MG N-NO<sub>3</sub> KG<sup>-1</sup>). DES LETTRES DIFFERENTES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES TRAITEMENTS (ANOVA, TUKEY, P<0,05).

Les gammes de valeurs d'azote microbien mesurées se situaient entre 33 et 56 mg N kg<sup>-1</sup> (MBN, Figure 6.A), les gammes de valeurs d'azote issues de l'ammonium (WSN-NH<sub>4</sub>, Figure 6.D) allaient de 0 à 1.3 mg N-NH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup>, celles issues des nitrates (WSN-NO<sub>3</sub>, Figure 6.E) allaient de 2.5 à 14.5 mg N-NO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup>. Les gammes de valeurs de l'azote extrait à l'eau chaude (HWN total, Figure 6.B) et à l'eau froide (WSN organique, Figure 6.C) allaient respectivement de 126 à 150 mg N kg<sup>-1</sup> et de 6.3 à 10 mg N kg<sup>-1</sup>. Aucun effet significatif des fertilisants sur l'azote dans la biomasse microbienne et les fractions d'azote extractibles à l'eau n'a pu être mesuré.

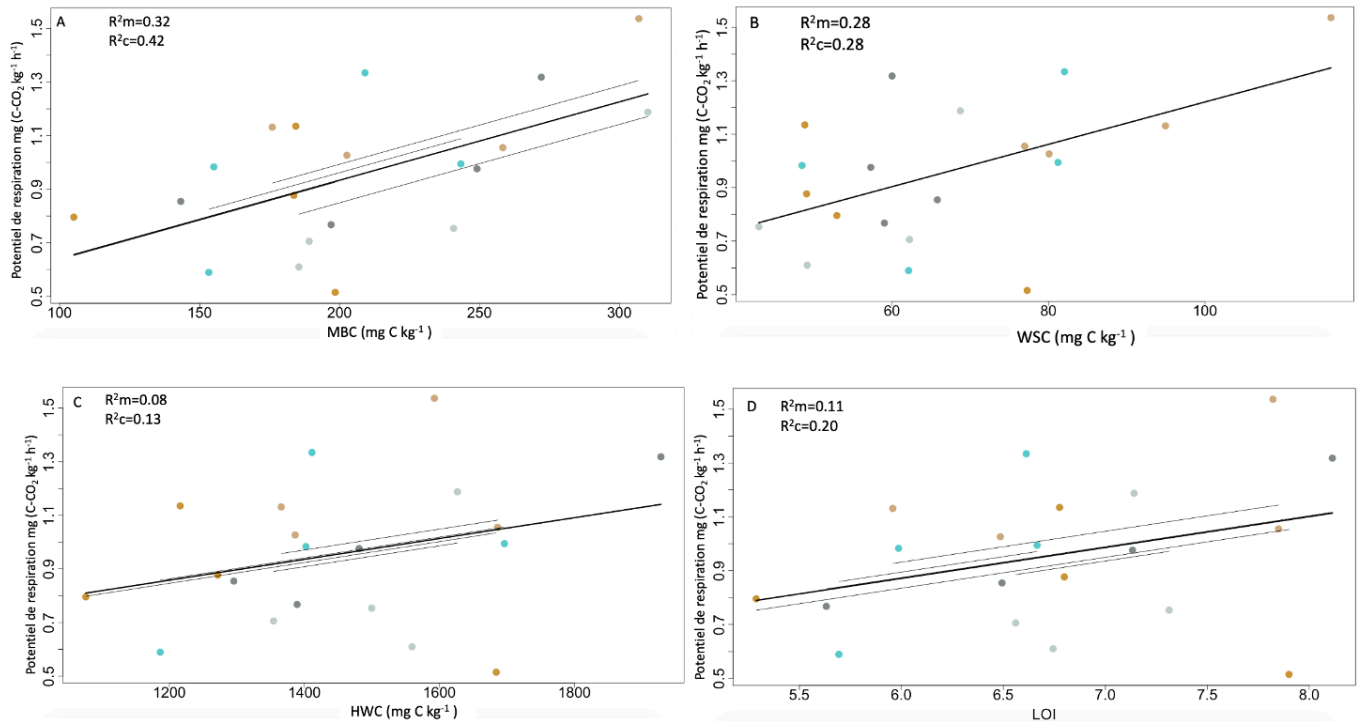
### 3.1.3 Effets de fertilisants sur les différents rapports MBC/MBN et C/N



**FIGURE 7. MOYENNES ET ERREURS STANDARD DES DIFFERENTS RAPPORTS MBC/MBN ET C/N.** A : RAPPORT C/N ISSU DE LA BIOMASSE MICROBIENNE ; B : RAPPORT HWC/WHNtotal ; C : RAPPORT WSC/WSNorganique. DES LETTRES DIFFERENTES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES TRAITEMENTS (ANOVA, TUKEY,  $p < 0,05$ ).

Les gammes de valeurs du rapport MBC/MBN (Figure 7.A) observées allaient de 4 à 7. Les valeurs du HWC/WHNtotal (Figure 7.B) allaient de 9.3 à 11.1 et celles issues du WSC/WSNorganique (Figure 7.C) allaient de 7.2 à 11.4. L'analyse des modèles linéaires expliquant les différentes variables en fonction des traitements n'a pas montré de différences statistiquement significatives, les fertilisants employés n'avaient donc pas d'effet sur les différents rapports mesurés.

### 3.1.4 Relation entre le potentiel de respiration et les fractions de carbone ainsi que la matière organique du sol (SOM)



**FIGURE 8. MODELES LINEAIRES ENTRE LE POTENTIEL DE RESPIRATION ET A : MBC ; B : WSC ; C : HWC ; D : SOM.  $R^2_m$  EST LA PART DE VARIANCE EXPLIQUEE PAR LE FACTEUR FIXE,  $R^2_c$  EST LA PART DE VARIANCE EXPLIQUEE PAR LE FACTEUR FIXE ET LE FACTEUR ALEATOIRE. LA LIGNE EN GRAS ILLUSTRE LE MODELE COMPLET, LES AUTRES LIGNES ILLUSTRENT LA RELATION POUR CHAQUE TRAITEMENT SEPAREMENT.**

La biomasse microbienne (Figure 8.A) présentait la meilleure relation avec le potentiel de respiration, suivi du carbone extrait à l'eau froide (WSC). La part de variance expliquée par le modèle prenant le carbone extrait à l'eau chaude (Figure 8.C) comme facteur fixe était très faible. De même,  $R^2$  était très faible dans le cas du modèle employant la matière organique du sol (SOM, Figure 8.D) comme facteur fixe.



### 3.2 Études des différentes parcelles du projet Transae

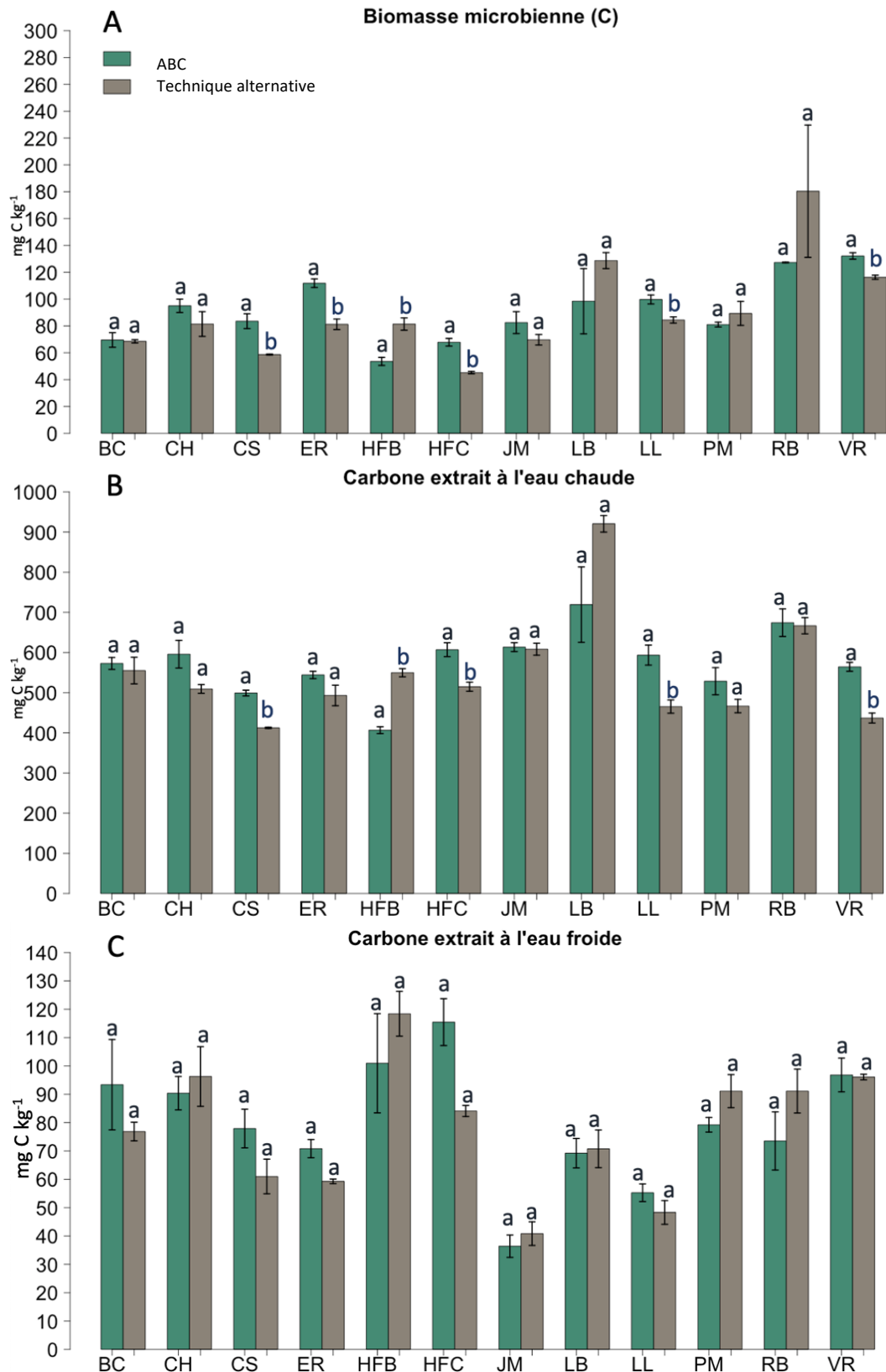
#### 3.2.1 Fractions de carbone, variabilité inter- et intra- sites

**TABLEAU 6. DISTINCTION DES GROUPES DE PARCELLES ABC SELON LES VALEURS MOYENNES DE MBC , HWC , WSC (ANOVA, TUKEY, P<0,05)**

| Sites | MBC                       |        | HWC                       |        | WSC                       |        |
|-------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
|       | Moyenne ± erreur standard | Groupe | Moyenne ± erreur standard | Groupe | Moyenne ± erreur standard | Groupe |
| BC    | 69.57 ± 5.45              | cd     | 572.75 ± 14.8             | ad     | 93.39 ± 15.9              | ac     |
| CH    | 95.00 ± 4.96              | ac     | 595.80 ± 34.4             | abc    | 90.40 ± 5.90              | ac     |
| CS    | 83.56 ± 5.52              | bcd    | 499.1 ± 7.22              | cd     | 77.93 ± 6.82              | ad     |
| ER    | 111.9 ± 3.17              | ab     | 544.2 ± 9.1               | bd     | 70.82 ± 3.20              | bcd    |
| HFB   | 53.58 ± 2.96              | d      | 406.8 ± 8.5               | d      | 101.0 ± 17.50             | ab     |
| HFC   | 67.85 ± 2.89              | cd     | 607.0 ± 17.4              | abc    | 115.5 ± 8.27              | a      |
| JM    | 82.52 ± 8.18              | bcd    | 613.5 ± 11.0              | abc    | 36.40 ± 3.94              | d      |
| LB    | 98.45 ± 24.3              | ac     | 719.3 ± 93.9              | a      | 69.22 ± 5.20              | bcd    |
| LL    | 99.75 ± 3.34              | ac     | 593.6 ± 25.0              | abc    | 55.27 ± 3.11              | cd     |
| PM    | 81.02 ± 1.81              | bcd    | 528.6 ± 33.9              | bd     | 79.23 ± 2.60              | ad     |
| RB    | 127.3 ± 0.31              | a      | 674.3 ± 34.3              | ab     | 73.53 ± 10.2              | ad     |
| VR    | 132.2 ± 2.41              | a      | 564.4 ± 11.0              | ad     | 96.81 ± 5.95              | ac     |

Les sites qui n'ont aucune lettre en commun diffèrent de manière significative.

Les moyennes des mesures de carbone microbien se situaient entre 45.2 et 180.3 mg C kg<sup>-1</sup> de sol sec. Dans les parcelles exploitées en ABC (Tableau 6), la biomasse microbienne était la plus élevée sites RB et VR et la plus faible dans le site HFB. Les valeurs moyennes mesurées de HWC et WSC allaient respectivement de 406.8 à 920.5 mg C kg<sup>-1</sup> et de 36.4 à 118.4 mg C kg<sup>-1</sup>. On a pu observer des valeurs relativement similaires entre les sites pour les valeurs de carbone extrait à l'eau chaude, néanmoins le site LB présentait des valeurs significativement plus élevées et le site HFB des valeurs plus faibles. Les valeurs de carbone extrait à l'eau froide étaient plus hétérogènes, avec des valeurs faibles aux sites JM et LL et élevées aux sites HFB et HFC.



**FIGURE 9. MOYENNES ET ERREURS STANDARD DES VALEURS DE CARBONE EN FONCTION DES SITES.** A : BIOMASSE MICROBIENNE (MG C KG<sup>-1</sup>) ; B CARBONE EXTRAIT A L'EAU CHAUDE (MG C KG<sup>-1</sup>) ; C : CARBONE EXTRAIT A L'EAU FROIDE (MG C KG<sup>-1</sup>). LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITEES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET DE CONSERVATION (ABC) SONT PRESENTES EN VERT, LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITEES DIFFEREMMENT SONT EN GRIS. DES LETTRES DIFFERENTES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES PARCELLES AU SEIN DE CHAQUE SITE (TEST T DE STUDENT, P<0,05).

La MBC et le HWC étaient significativement plus faibles dans la parcelle en ABC par rapport à la parcelle labourée pour le site HFB et significativement plus élevés dans la parcelle ABC que dans la parcelle cultivée en TCS pour les sites HFC et VR. La MBC et le HWC étaient plus élevés dans la parcelle ABC du site LL, où la densité de semis est supérieure à celle de la parcelle de technique alternative. Aucune différence significative n'a pu être observée pour le WSN entre les parcelles ABC et les autres pour chacun des 12 sites.

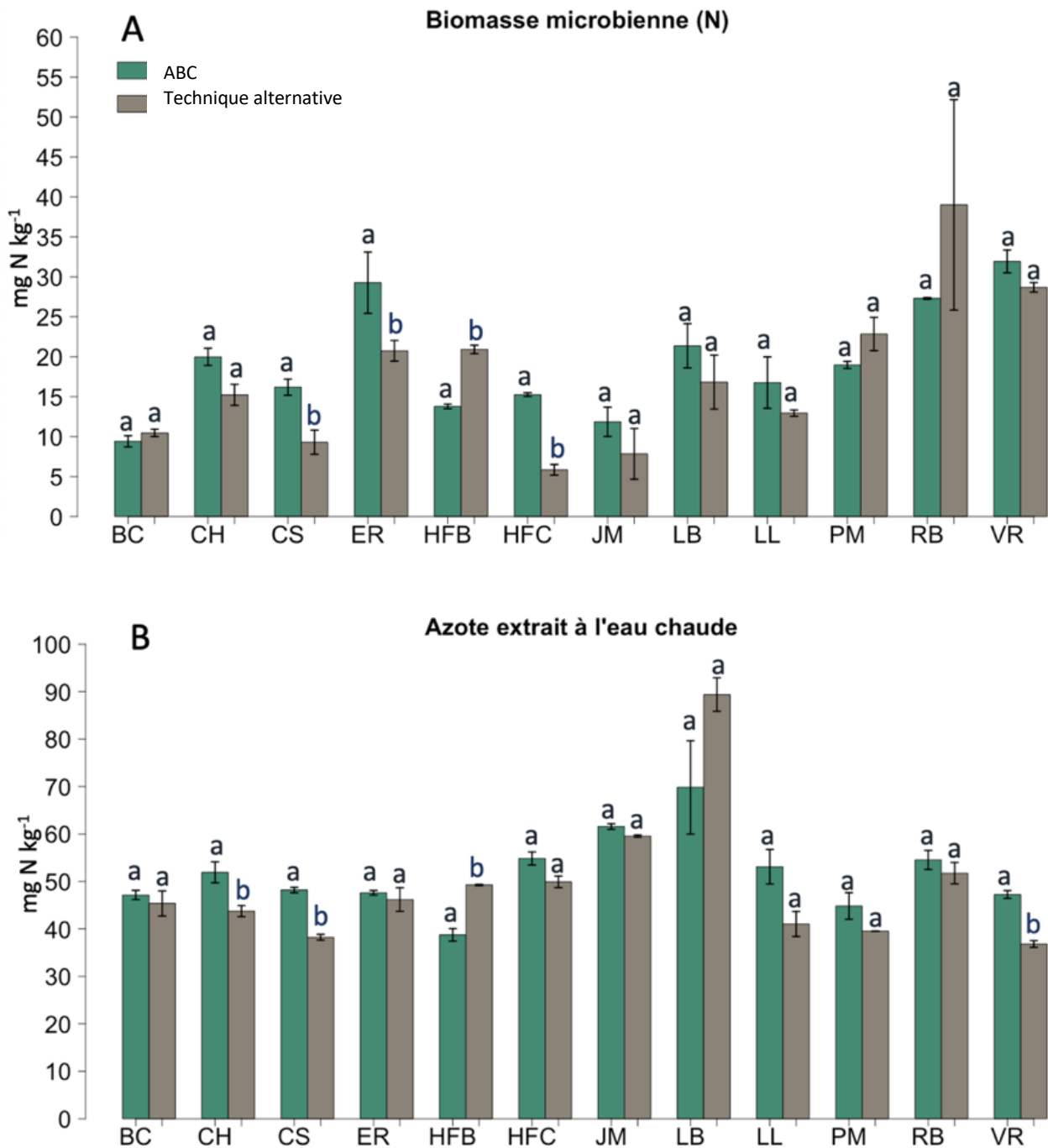
### 3.2.2 Fractions d'azote, variabilité inter- et intra- site

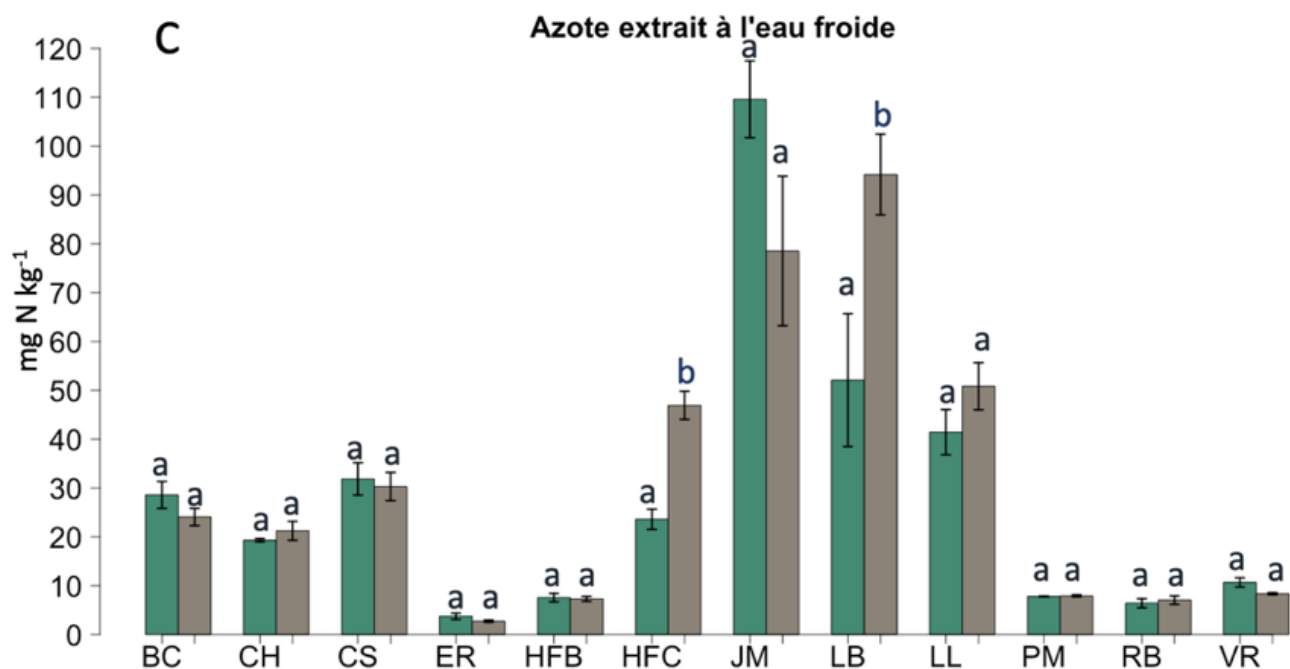
**TABLEAU 7. DISTINCTION DES GROUPES DE PARCELLES ABC SELON LES VALEURS MOYENNES DE MBN, HWN, WSN**

| Variables mesurées → | MBN                       |        | HWN                       |        | WSN                       |        |
|----------------------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
|                      | Moyenne ± erreur standard | Groupe | Moyenne ± erreur standard | Groupe | Moyenne ± erreur standard | Groupe |
| BC                   | 9.41 ± 0.69               | f      | 47.14 ± 0.97              | bc     | 28.59 ± 2.76              | be     |
| CH                   | 19.96 ± 1.2               | bcde   | 51.93 ± 2.20              | bc     | 19.31 ± 0.34              | cde    |
| CS                   | 16.19 ± 1.00              | df     | 48.19 ± 0.59              | bc     | 31.86 ± 3.31              | bd     |
| ER                   | 29.28 ± 3.84              | ab     | 47.60 ± 0.47              | bc     | 3.75 ± 0.64               | e      |
| HFB                  | 13.79 ± 0.30              | df     | 38.75 ± 1.31              | c      | 7.56 ± 0.86               | de     |
| HFC                  | 15.26 ± 0.23              | df     | 54.85 ± 1.37              | ac     | 23.61 ± 2.07              | cde    |
| JM                   | 11.86 ± 1.84              | ef     | 61.57 ± 0.61              | ab     | 109.6 ± 7.87              | a      |
| LB                   | 21.37 ± 2.77              | bcd    | 69.82 ± 9.83              | a      | 52.1 ± 13.6               | b      |
| LL                   | 16.77 ± 3.22              | df     | 53.10 ± 3.64              | ac     | 41.43 ± 4.62              | bc     |
| PM                   | 18.97 ± 0.44              | cde    | 44.84 ± 2.8               | bc     | 7.80 ± 0.09               | de     |
| RB                   | 27.30 ± 0.1               | ac     | 54.55 ± 2.00              | ac     | 6.421 ± 0.91              | e      |
| VR                   | 31.93 ± 1.43              | a      | 47.25 ± 0.80              | bc     | 10.66 ± 0.94              | de     |

Les sites qui n'ont aucune lettre en commun diffèrent de manière significative.

Les gammes de moyennes d'azote microbien allaient de 5.85 à 39 mg N kg<sup>-1</sup>, avec des valeurs maximales atteintes aux sites RB et VR (Figure 10.A). Les sites BC, CS, HFB, HFC, JM et LL présentaient des gammes similaires (Tableau 7). Les gammes de moyennes d'azote extrait à l'eau chaude (HWN, Figure 10.B) allaient de 36.8 à 89.4 mg N kg<sup>-1</sup> et étaient relativement homogènes, avec un maximum atteint au niveau du site LB. Les gammes de moyennes d'azote extrait à l'eau froide (WSN, Figure 10.C) étaient beaucoup plus disparates et allaient de 2.73 à 109.6 mg N kg<sup>-1</sup>. Trois groupes principaux ont pu être distingués : le site JM, où les valeurs étaient les plus élevées, les sites LB, LL et HFC contenant les valeurs intermédiaires et les sites restants, où les valeurs de WSN étaient les plus faibles (Tableau 7).

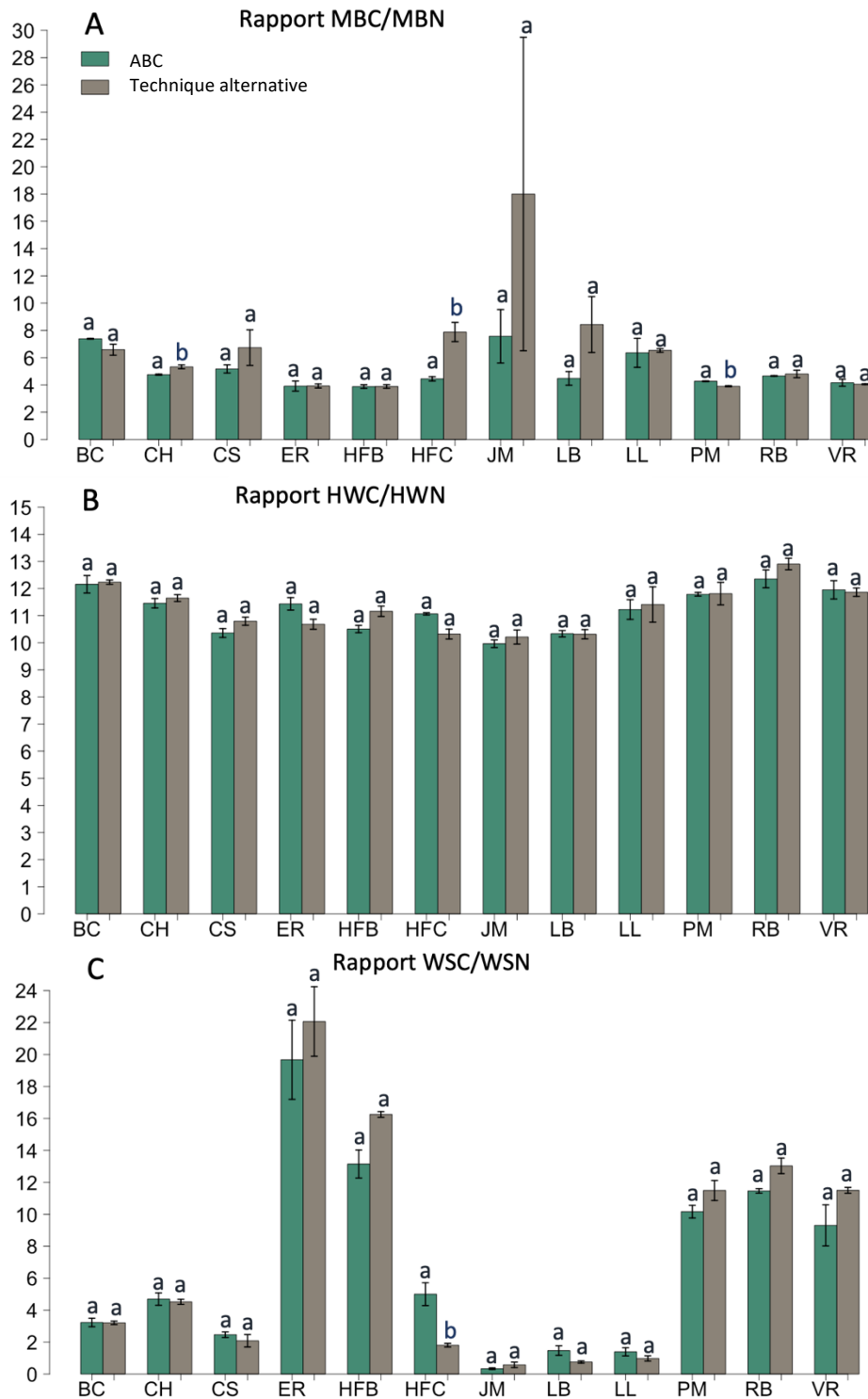




**FIGURE 10. MOYENNES ERREURS STANDARD DES VALEURS D'AZOTE EN FONCTION DES SITES:** A : VALEURS D'AZOTE ISSUES DE LA BIOMASSE MICROBIENNE (MG N KG<sup>-1</sup>) ; B : VALEURS D'AZOTE EXTRAIT A L'EAU CHAUDE (MG N KG<sup>-1</sup>) ; C : VALEURS D'AZOTE EXTRAIT A L'EAU FROIDE (MG N KG<sup>-1</sup>). LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITEES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET DE CONSERVATION (ABC) SONT PRESENTEES EN VERT, LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITEES DIFFEREMMENT SONT EN GRIS. DES LETTRES DIFFERENTES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES PARCELLES AU SEIN DE CHAQUE SITE (TEST T DE STUDENT, P<0,05).

On a pu observer que les valeurs d'azote microbien et de HWN (Figure 10 A & B) étaient inférieures dans la parcelle ABC par rapport à la parcelle labourée au site HFB, alors que la valeur d'azote microbien de la parcelle ABC du site HFC était supérieure à celle de la parcelle en TCS. En revanche, la valeur de WSN de la parcelle en ABC au site HFB était inférieure à la valeur au sein de la parcelle en TCS. La parcelle VR montrait des valeurs de HWN supérieures dans la parcelle ABC par rapport à celle en TCS, tandis que la parcelle LL présentait des valeurs de WSN inférieures dans la parcelle ABC, où la densité de semis est supérieure à celle de la parcelle en TCS.

### 3.2.3 Variabilité intersites des rapports MBC/MBN et C/N

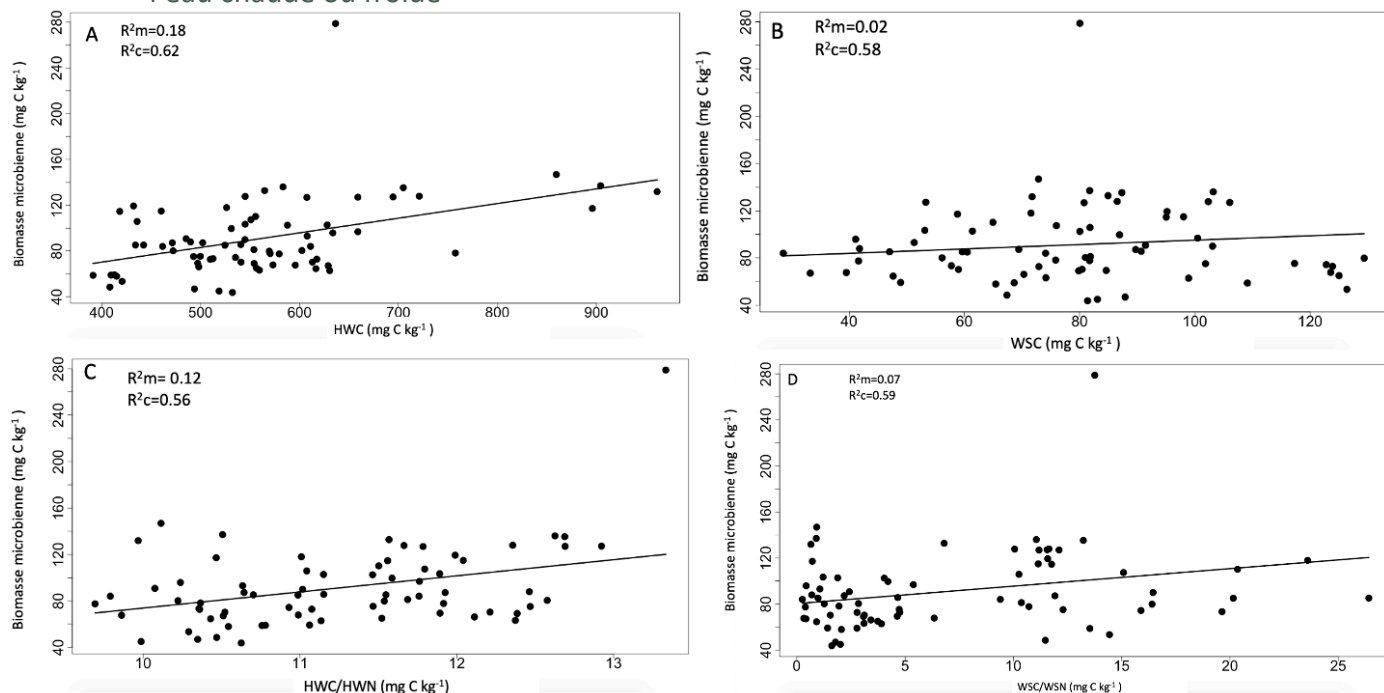


**FIGURE 11. MOYENNES ERREURS STANDARD DES RAPPORTS MBC/MBN ET C/N EN FONCTION DES SITES, AVEC DISTINCTION DES PARCELLES. A : VALEURS MOYENNES OBTENUES POUR LE RAPPORT C/N CALCULÉ À PARTIR DES VALEURS DE BIOMASSE MICROBIENNE ; B : VALEURS MOYENNES OBTENUES POUR LE RAPPORT HWC/HWN ; C : VALEURS MOYENNES OBTENUES POUR LE RAPPORT WSC/WSN. LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITÉES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET DE CONSERVATION (ABC) SONT PRÉSENTÉES EN VERT, LES MOYENNES DES PARCELLES EXPLOITÉES DIFFÉREMMENT SONT EN GRIS. DES LETTRES DIFFÉRENTES INDIQUENT DES DIFFÉRENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES PARCELLES AU SEIN DE CHAQUE SITE (TEST T DE STUDENT, P<0,05).**

Le valeurs moyennes du rapport MBC/MBN se situaient entre 3.9 et 8.4 pour tous les sites, exceptés JM qui atteignait une valeur de 18 (Figure 11.A). Pour le rapport C/N, les résultats étaient très différents en fonction de la fraction utilisée pour le calcul. Les valeurs du rapport HWC/HWN (Figure 11.B) se situaient entre 9.96 et 12.9. Dans le cas du rapport WSC/WSN (Figure 11.A), les valeurs allaient de 0.33 à 22, avec de grandes différences entre les sites. Ainsi, les sites BC, CH, CS, JM, LB, LL, présentaient rapports inférieurs à 8, tandis que les sites PM et VR présentaient des rapports compris entre 8 et 12. Enfin, les sites RB, HFB et ER ont des rapports WSC/WSN supérieurs à 12.

Le rapport MBC/MBN était inférieur dans la parcelle HFC exploitée en ABC par rapport à celle exploitée en TCS, ainsi que dans la parcelle CH où la densité de semis était inférieure à la densité de la parcelle en ABC. En revanche, la parcelle PM en ABC présentait un rapport MBC/MBN inférieur à celle labourée. La parcelle HFB présentait un rapport WSC/WSN supérieur dans la parcelle ABC par rapport à la parcelle exploitée en TCS.

### 3.2.4 Relation entre la biomasse microbienne et les fractions de carbone extraites à l'eau chaude ou froide



**FIGURE 12. MODELES LINEAIRES CONSTRUITS ENTRE LA BIOMASSE MICROBIENNE ET A : LE CARBONE EXTRAIT A L'EAU CHAUDE ; B LE CARBONE EXTRAIT A L'EAU FROIDE ; C : HWC/HWN ; D : WSC/WSN .**  
 $R^2m$  EST LA PART DE VARIANCE EXPLIQUEE PAR LE MODELE EN PRENANT EN COMPTE LE FACTEUR FIXE,  $R^2c$  EST LA PART DE VARIANCE EXPLIQUEE PAR LE MODELE EN PRENANT EN COMPTE LE FACTEUR FIXE ET LE FACTEUR ALEATOIRE.

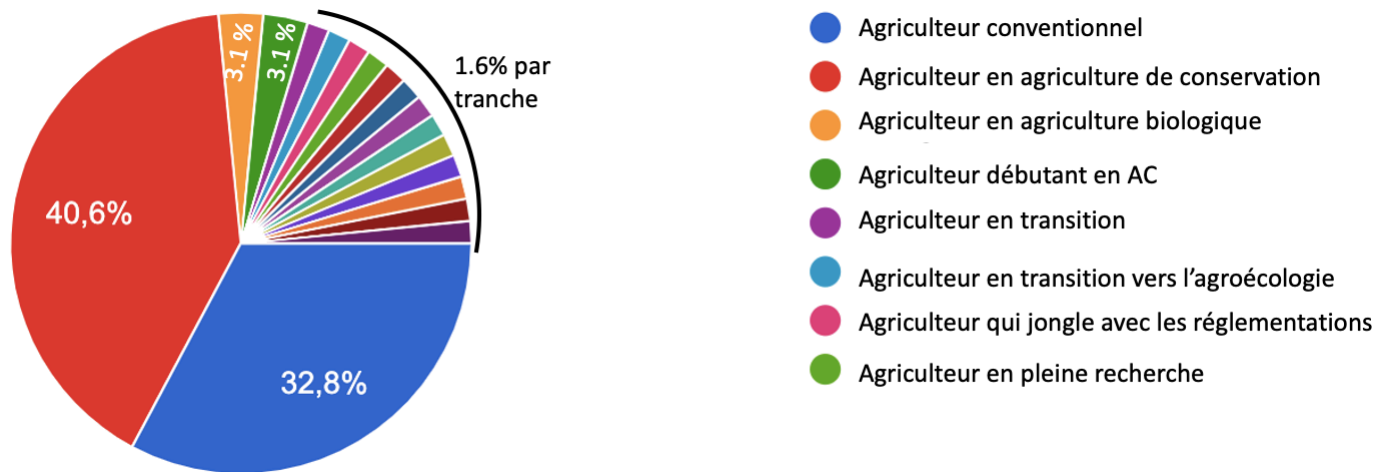
Toutes les fractions de carbone analysés présentait une bonne relation avec la biomasse microbienne, expliquant 56-62% de sa variabilité (Figure 12). Le carbone extrait à l'eau chaude présentait la meilleure relation avec la biomasse microbienne (Figure 12.A).

### 3.3 Liens entre les pratiques agricoles et la perception de la qualité des sols

Les questions sont disponibles en **Annexe III**, l'accès à l'intégralité des réponses aux questions et des graphiques se fait via le lien suivant :

<https://docs.google.com/forms/d/1h9vbJRdYppoT2GHCsALjvnLWrGLybo28FiJWGvqyUg8/edit?usp=sharing> .

#### 3.3.1 Profil des participants de l'enquête



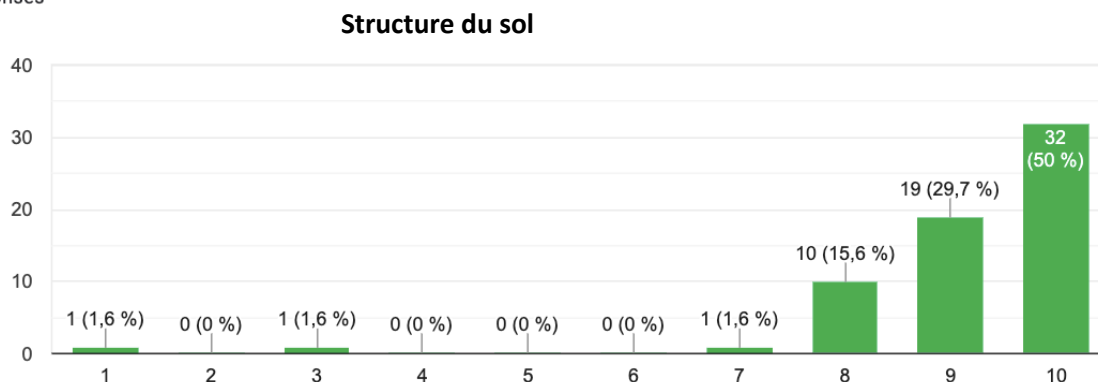
**FIGURE 13. TYPE D'AGRICULTURE PRATIQUEE PAR LES REpondANTS**

L'étude sociétale se base sur un échantillon de 64 agriculteurs (93,8% d'hommes) français (76.6%) et belges (20.3%) dont la moyenne d'âge était de 40 ans. Parmi eux, 40.6 % déclaraient pratiquer l'agriculture de conservation, 32.8 % se revendiquaient agriculteurs conventionnels et 3 % déclaraient pratiquer l'agriculture biologique (Figure 13). Les autres se définissaient comme des agriculteurs en transition entre différents types de pratiques ou ne souhaitaient pas avoir à s'identifier à une seule pratique. Il est intéressant de noter que 69% des répondants ont déclaré participer plusieurs fois par an à des journées de formations liées à l'agriculture.

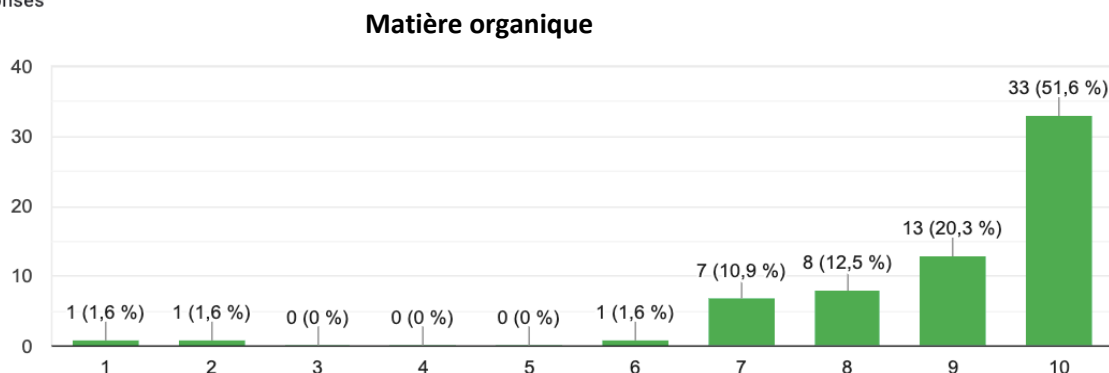




64 réponses



64 réponses



**FIGURE 15. REPARTITION DES COTES SUR 10 DONNEES PAR LES AGRICULTEURS A LA NECESSITE DE PROTEGER LA VIE, LA STRUCTURE ET LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL**

Les observations réalisées par les agriculteurs au sein de leurs parcelles (Tableau 8. Observations réalisées par les agriculteurs pour évaluer la qualité du sol de la parcelles et fréquence de ces observations) ont pu être divisées en trois classes en fonction de la fréquence à laquelle elles étaient effectuées. Nous avons pu remarquer que 85.93 % des agriculteurs effectuaient très régulièrement des observations visuelles de la vigueur des plantes. Une large majorité (respectivement 85.93 %, 81.25 % et 78.12 %) des interrogés déclarait également effectuer fréquemment des mesures de pH, des tests combinés de N, P, K et des mesures de matière organique. Enfin, 75 % d'entre eux ne faisaient jamais de test de type slake test ou de mesures au pénétromètre.

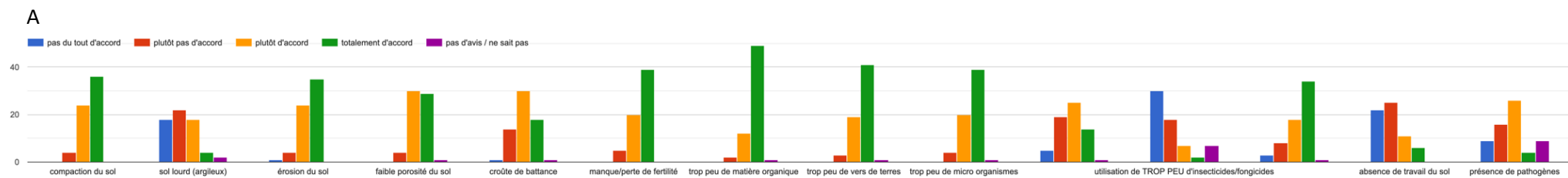
**TABLEAU 8. OBSERVATIONS REALISEES PAR LES AGRICULTEURS POUR EVALUER LA QUALITE DU SOL DE LA PARCELLES ET FREQUENCE DE CES OBSERVATIONS**

| Proposition                                       | Fréquence      |  |   |
|---|----------------|--|---|
|   | Jamais         | Fréquemment (tous les trois ans maximum) | Régulièrement (annuellement ou plusieurs fois par an) |
| Observations visuelles de la vigueur des cultures | 0 %            | 14.07 %                                  | <b>85.93 %</b>  |
| Comptage des terricules de vers de terre          | 39 %           | <b>48.44 %</b>                           | 12.5 %  |
| Profil du sol                                     | 18.75 %        | <b>51.56 %</b>                           | 29.69 %   |
| Dosage de matière organique                       | 10.93 %        | <b>78.12 %</b>                           | 10.93 %   |
| Dosage de nitrates                                | 37.5 %         | <b>51.56 %</b>                           | 10.93 %   |
| Mesures de pH                                     | 6.26 %         | <b>85.93 %</b>                           | 7.81 %  |
| Test combiné N,K,C,pH                             | 12.5 %         | <b>81.25 %</b>                           | 6.25 %  |
| Pénétrromètre                                     | <b>68.75 %</b> | 29.69 %                                  | 1.5 %   |
| Slake test  | <b>81.25 %</b> | 18.75 %                                  | 0 %   |

Le pourcentage maximal de chaque catégorie est mis en évidence en gras.

Les agriculteurs ont également été interrogés sur les causes des problèmes de qualité des sols, d'une manière générale et au sein de leur exploitation. Il est intéressant de noter que les réponses étaient très différentes dans les deux cas (Figure 16, page suivante). Les réponses qui revenaient le plus fréquemment quant aux causes des problèmes de qualité des sols furent la perte de matière organique, le manque de vers de terre et le manque ou la perte de fertilité, suivis de la compaction et l'érosion du sol. Un agriculteur évoquait également l'empoisonnement du sol aux métaux lourds. En revanche, lorsqu'on interrogeait les agriculteurs sur l'origine des problèmes de qualité des sols sur leurs parcelles, c'est le manque de fertilité qui fut la réponse la plus soutenue. De plus, les réponses étaient beaucoup plus nuancées dans le cas des parcelles des agriculteurs, avec une majorité de « plutôt d'accord » ou « plutôt pas d'accord » alors qu'on dénombrerait plus de réponses absolues lorsqu'on les interrogeait sur les sols en général.

2) En général, des problèmes de qualité des sols sont liés à :



3) Sur mes terres, des problèmes de qualité des sols sont liés à :

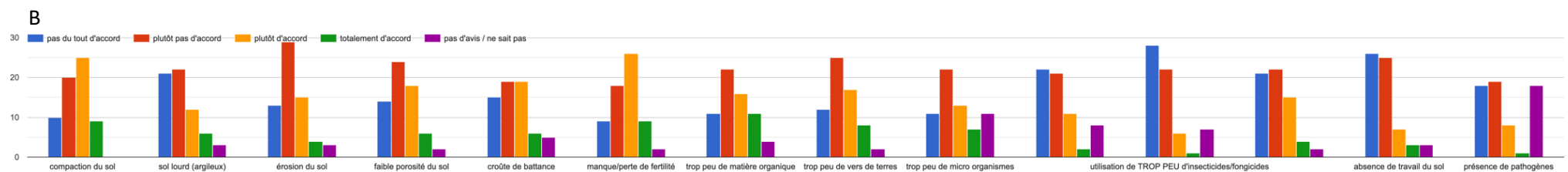


FIGURE 16. ORIGINE DES PROBLEMES DE QUALITE DES SOLS D'UNE MANIERE GENERALE (A) ET AU SEIN DES PARCELLES DES AGRICULTEURS INTERROGES (B)

### 3.3.3 Perception de l'Agriculture Biologique et de l'Agriculture de Conservation

**TABLEAU 9. PERCEPTION DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION PAR LES AGRICULTEURS**

| Avis  | Accord         |                | Désaccord      |                | Neutre |        |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
|   | AB             | AC             | AB             | AC             | AB     | AC     |
| Augmente la biodiversité des sols                           | 40.63 %        | <b>89.06 %</b> | <b>54.69 %</b> | 10.94 %        | 4.69 % | 0 %    |
| Diminue l'impact des pratiques agricoles sur les sols       | 23.44 %        | <b>89.06 %</b> | <b>75 %</b>    | 10.94 %        | 1.56 % | 0 %    |
| Diminue les risques de maladies au sein des parcelles       | 12.5 %         | <b>51.56 %</b> | <b>79.69 %</b> | 42.19 %        | 7.81 % | 6.25 % |
| Diminue la présence d'adventices indésirables               | 12.5 %         | 39.06 %        | <b>84.36 %</b> | <b>54.69 %</b> | 3.12 % | 6.25 % |
| Augmente le risque de ravageurs des cultures                | <b>57.81 %</b> | <b>50 %</b>    | 34.36 %        | 45.31 %        | 7.81 % | 6.25 % |
| Diminue la productivité des parcelles                       | <b>82.81 %</b> | 20.31 %        | 15.62 %        | <b>78.13 %</b> | 1.56 % | 1.56 % |
| Augmente le risque de dégâts par la faune (oiseaux, gibier) | <b>59.38 %</b> | 46.88 %        | 28.12 %        | <b>48.44 %</b> | 12.5 % | 4.69 % |

Les propositions tournées positivement par rapport à l'agriculture biologique sont en vert, les propositions tournées négativement sont en rouge. Les pourcentages maximaux pour chaque proposition sont en gras.

Les avis des agriculteurs envers l'agriculture biologique et l'agriculture de conservation étaient très mitigés. On observe (Tableau 9) qu'une majorité des agriculteurs était en désaccord avec l'idée que l'AB puisse participer à diminuer les risques de maladies ou d'adventices indésirables au sein des parcelles tandis qu'une proportion similaire était en accord avec la proposition selon laquelle l'AB favorise la diminution de productivité des parcelles. On remarque qu'une large majorité des agriculteurs interrogés était en accord avec les propositions soutenant que l'AC permet d'augmenter la biodiversité des sols et de diminuer l'impact des pratiques agricoles sur les sols. En ce qui concerne

la productivité des parcelles, 78.13 % des agriculteurs réfutaient l'idée qu'elle pourrait être diminuée par les pratiques de l'AC.

### 3.3.4 Pratiques agricoles

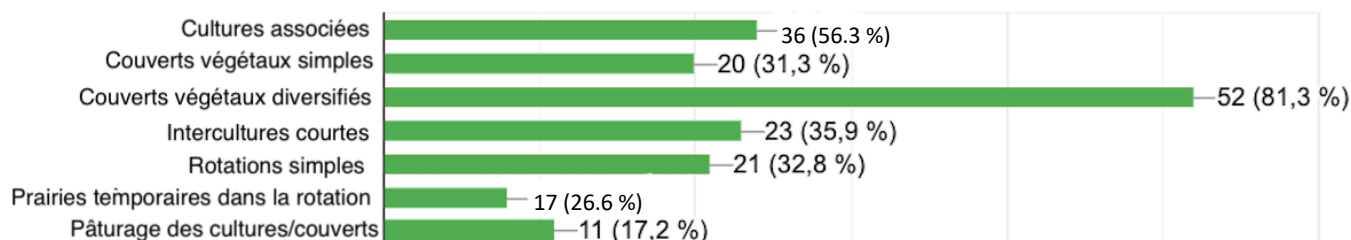


FIGURE 17. EMPLOI DES TECHNIQUES LIEES AUX CULTURES.

Les agriculteurs ont été interrogés sur leurs habitudes de gestion des cultures (Figure 17), et leur motivation à conserver ou abandonner certaines d'entre elles (questions 16,17,18). En ce qui concerne la fertilisation (question 13), les agriculteurs répondants employaient principalement des engrais minéraux ainsi que des fertilisants organiques produits au sein ou en dehors de leur exploitation (87.5 %, 48.8 % et 50 % respectivement). Étaient aussi évoqués comme fertilisants les couverts végétaux et légumineuses après destruction, les boues de station d'épuration et le calcaire pulvérisé. Les habitudes concernant le travail du sol (Figure 18) sont variables : 43.75 % des interrogés déclaraient ne jamais labourer leur sol, et un même pourcentage déclarait ne labourer qu'une minorité de leurs parcelles. On peut noter que 15.62% des répondants déclaraient travailler l'intégralité de leurs parcelles en travail superficiel et autant pratiquent le semis direct. Les techniques employées pour travailler les sols étaient très variables, et dépendaient des caractéristiques inhérentes aux parcelles.

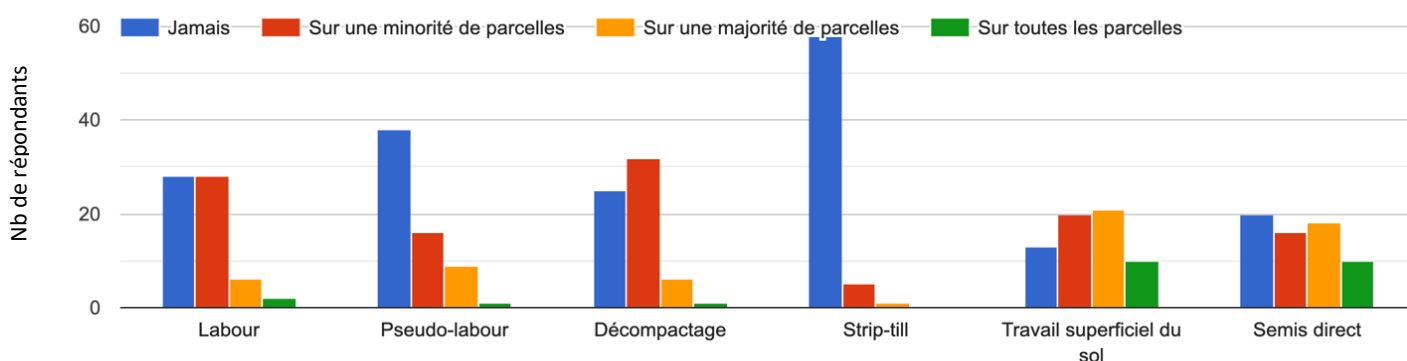


FIGURE 18. CHOIX DES TECHNIQUES DE TRAVAIL DU SOL

Si un effet négatif de la pratique leur était démontré, 69% des agriculteurs interrogés seraient prêts à arrêter le labour profond, 47% seraient prêts à arrêter d'employer des insecticides et 42 % seraient prêts à arrêter les fongicides (question 17). En revanche, dans le même contexte, 47% des interrogés ne semblaient pas favorable à l'arrêt de l'emploi des herbicides. Les agriculteurs semblaient également attachés à l'emploi de couverts végétaux (Figure 17) : 81,3 % déclaraient en avoir au sein de leur exploitation et 59% déclaraient souhaiter continuer à les employer même si un effet négatif de

ceux-ci était démontré. Ce fut également le cas pour les fertilisants organiques, que tous les agriculteurs déclaraient utiliser et dont 64 % ne souhaitaient pas se passer. Enfin, les trois motivations principales évoquées (questions 18) quant aux choix des pratiques culturales par les agriculteurs furent l'amélioration de la structure du sol, l'amélioration de la matière organique du sol et la préservation de la vie du sol.

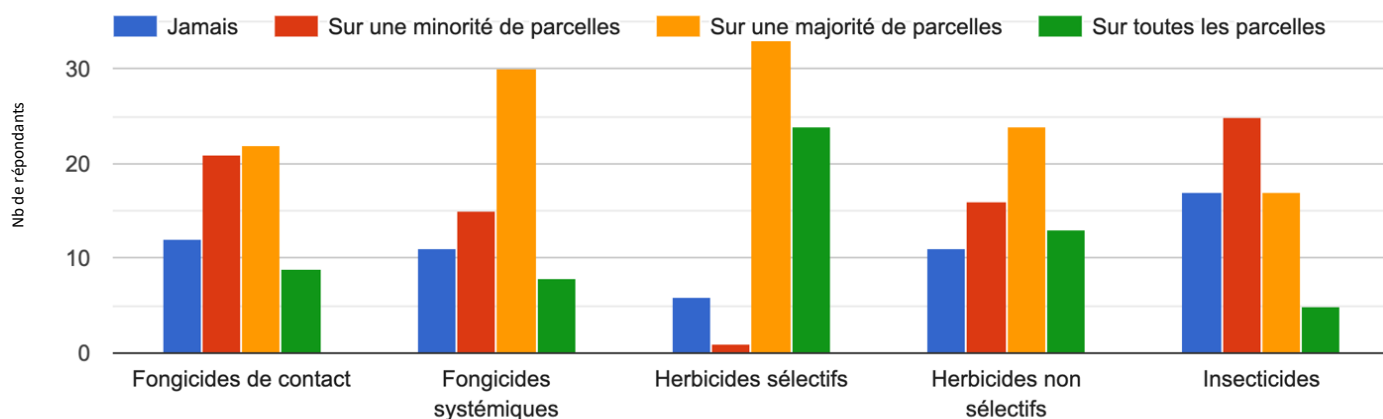


FIGURE 19. CHOIX DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES EMPLOYES

#### 4. Discussion

##### 4.1 Effets de fertilisants azotés sur la qualité du sol d'une prairie de fauche

Les prairies couvrent la moitié de la surface agricole Wallonne et sont une des principales sources de nourriture pour les animaux d'élevage, par le pâturage ou la production de fourrage. La fertilisation des prairies permet d'augmenter leur productivité (Socher et al., 2012) et nous nous sommes intéressés aux effets de différents fertilisants sur la qualité des sols, en particulier sur la comparaison de digestat par rapport à des fertilisants classiques (nitrate, lisier). Le digestat, issu de la dégradation anaérobie de la matière organique (méthanisation) pourrait présenter une alternative intéressante pour la fertilisation des prairies. En effet, l'apport de digestat sous forme liquide permet une infiltration rapide dans le sol de matière organique déjà minéralisée et facilement accessible pour les plantes (Gennen & Luxen, 2015; Walsh et al., 2012). Il semblerait que la fraction solide du digestat ait une fonction d'amendement, notamment en augmentant le pH du sol, tandis que la fraction liquide ait plutôt un effet fertilisant (Nkoa, 2014).

Nous avons observé un effet sur le WSC, qui était significativement plus élevé après une fertilisation au lisier. Il a été montré qu'un amendement azoté associé au lisier avait un effet positif sur les teneurs en WSC. En effet, l'ajout de fertilisant organique pourrait stimuler la biomasse microbienne et activer la décomposition rapide de MO, libérant ainsi une fraction de carbone soluble (Brar et al.,

2013). Cependant, dans notre étude, la biomasse et la respiration microbienne n'étaient pas différentes entre les traitements. Il est possible que cette augmentation sous lisier soit simplement due à un apport récent. Pour les autres paramètres étudiés, nous n'avons pas observé de différences selon les modes de fertilisation. Comme les expérimentations ont commencé en 2013, on peut exclure l'hypothèse selon laquelle les traitements ne sont pas mis en place depuis suffisamment longtemps pour que leur effet soit mesurable. L'ajout de fertilisant azoté sur les prairies entraîne habituellement une augmentation du carbone et de l'azote total du sol, qu'on peut attribuer à une production de MO qui compense largement la décomposition (Dijkstra et al., 2005).

Le digestat peut avoir un effet fertilisant équivalent à celui des fertilisants chimiques (Gennen & Luxen, 2015), voire permettre des rendements supérieurs (Walsh et al., 2012). On peut penser que l'absorption d'azote par les plantes et le lessivage par les pluies ont contribué à la disparition de l'apport effectué lors de la fertilisation et donc l'absence d'accumulation dans le sol sous forme de biomasse microbienne et de fractions solubles (Barracough et al., 1983; de Vries et al., 2006). En effet, le devenir de l'azote varie en fonction de la pluviosité, qui influence à la fois la consommation par les plantes, l'activité des micro-organismes et le phénomène de lixiviation. Il a été proposé que l'application de digestat n'augmente pas le risque de lessivage du nitrate par rapport aux fertilisants chimiques (Tsachidou et al., 2019). Cependant, le contenu élevé en N soluble du digestat peut conduire à d'importantes émissions de  $\text{NO}_2$  (Gennen & Luxen, 2015). De plus, la fraction ammoniacale est importante dans le digestat et l'augmentation du pH induit un passage en phase gazeuse des ions ammoniums dilués, libérant ainsi de l'ammoniac (Nkoa, 2014). Ainsi, l'abondance des précipitations provoque une perte d'azote par lessivage, alors que le manque de précipitations augmente la perte d'azote par volatilisation. Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude sont ponctuelles et reflètent l'état du sol au moment de l'échantillonnage, qui a eu lieu après un épisode de pluie faisant suite à plusieurs semaines de sécheresse.

On a observé des gammes de valeurs de biomasse microbienne allant de 168 à 235  $\text{mg C kg}^{-1}$ , ce qui reste assez faible comparé aux gammes de valeurs pour les prairies wallonnes, allant de 356 à 2 185  $\text{mg C kg}^{-1}$  avec une moyenne de 1 225  $\text{mg C kg}^{-1}$  (Krüger et al., 2018). Ainsi, l'apport de fertilisant azoté ne permettait pas d'augmenter la biomasse microbienne, peut-être limitée par la quantité de carbone disponible (Li, 2018). De plus, en Irlande, l'étude de l'impact de différents digestats sur la diversité microbienne a montré que les micro-organismes dominants dans le digestat ne se retrouvaient pas, ou très peu, dans les sols et que seule la diversité des champignons était affectée par l'apport de digestat sur les prairies (Coelho et al., 2020). Il est possible qu'il y ait une compétition entre micro-organismes du sol et du digestat, ou qu'il existe une incompatibilité de niche empêchant ces derniers de se développer dans le sol. L'impact observé sur la diversité des champignons peut s'expliquer par une augmentation du pH résultant de l'application du digestat (Coelho et al., 2020; Gennen & Luxen, 2015).

#### 4.2 Variations inter et intra sites sur le projet Transae

L'objectif du projet Transae est de promouvoir l'agroécologie et ses pratiques telles que le non labour, l'agriculture biologique, la diversification des cultures et les cultures associées. Dans le cadre de cette étude, nous avons étudié la variabilité entre 12 sites d'expérimentations au sein desquelles se trouvaient 2 parcelles, une exploitée en ABC et une exploitée selon la technique propre



à l'agriculteur. Nous avons également regardé si ces parcelles présentaient des différences, que le changement de gestion ait déjà eu lieu ou non.

Bien que les valeurs maximales de biomasse microbienne aient été observées aux sites VR et RB, ces mesures étaient situées dans les gammes de valeurs de référence wallonnes « faibles » (108 à 212 mg C kg<sup>-1</sup> (Vincent et al., 2019)). Ces sites sont localisés en région hennuyère, où on retrouve un sol sableux naturellement pauvre (Bellayachi et al., 2017), ce qui peut expliquer que ces valeurs soient faibles. Les valeurs de carbone et azote extrait à l'eau froide étaient maximales au site LB, et appartenaient à la classe des valeurs « élevées » (115 à 200 mg C kg<sup>-1</sup> et 45 à 181 mg N kg<sup>-1</sup> respectivement) des gammes de référence en Wallonie. Le site LB est situé en Condroz, une région fertile idéale pour les prairies et les cultures de céréales. Le site JM était intéressant, car on y observait les valeurs minimales de WSC, qui restaient situées dans les gammes « moyennes » des valeurs de références (32 à 115 mg C kg<sup>-1</sup>) tandis que les valeurs de WSN y étaient maximales et appartenaient aux gammes « élevées » des valeurs de référence (45 à 181 mg N kg<sup>-1</sup>). Le WSC est une fraction très fluctuante car elle est facilement lessivée en cas de pluie, ce qui peut expliquer les faibles valeurs mesurées (Wander, 2004). Ce site est situé en Condroz limoneux, également caractérisé par un sol fertile. D'autres sites tels que LL et CS provenant également de ces régions présentaient des valeurs de WSN moyennes, comprises entre 6.5 et 45 mg N kg<sup>-1</sup>, on ne peut donc pas expliquer les différences entre sites par les régions agricoles où ils sont situés. Il est important d'établir les caractéristiques inhérentes à chacun de ces sites lors du lancement du projet, afin de pouvoir suivre leur évolution dans le temps.

On retrouvait également au site JM un ratio MBC/MBN élevé, traduisant une dominance de la communauté de champignons sur la communauté bactérienne de la biomasse microbienne (Hu et al., 2001). Dans toutes les autres parcelles du projet Transae, les valeurs du rapport MBC/MBN étaient situées entre 3.8 et 8.4 ce qui indiquait une domination de la communauté microbienne par les bactéries. Ainsi, à l'exception de la parcelle JM du projet Transae, toutes les parcelles étudiées avaient un rapport MBC/MBN se situant dans les gammes de valeurs de référence « moyennes » dans les sols de culture en Wallonie (4.5 à 11.2, (Vincent et al., 2019)).

Globalement, l'utilisation de PPP impacte négativement la diversité et l'abondance de la biomasse microbienne (Guo et al., 2020). Le labour expose la MO des agrégats à l'oxydation et perturbe la structure des sols, créant ainsi des conditions défavorables à la biomasse microbienne (Silva et al., 2014). On pourrait ainsi s'attendre à une augmentation de la biomasse microbienne suite à l'implémentation de l'ABC par l'élimination de l'utilisation de PPP et la diminution de l'intensité du labour par rapport aux techniques initialement utilisés dans les parcelles. Le HWC peut être utilisé comme une approximation de la biomasse microbienne car la température d'incubation des échantillons du sol provoque la lyse cellulaire et libère ainsi le carbone microbien, qui peut être mesuré (Ghani et al., 2003; Vincent et al., 2019). Nous avons observé que le changement de gestion vers l'ABC a provoqué une augmentation de la MBC et du HWC aux sites HFC, LL et VR (initialement cultivés en TCS) ainsi qu'aux sites CS et PM (où l'autre parcelle est labourée). Nous avons également observé que les parcelles ABC présentaient un HWN supérieur dans les sites CH et VR, anciennement en TCS, et CS, anciennement labouré. Par contre, nous avons mesuré des valeurs de HWC et HWN inférieure dans la parcelle du site HFB passée en ABC par rapport à la parcelle labourée. Enfin, les parcelles exploitées en TCS ont des valeurs de WSN à celles cultivées en ABC des sites HFC et LB. Ainsi, pour une majorité des sites ayant présenté des différences entre parcelle ABC et parcelle alternative, le changement de gestion semble avoir augmenté les fractions de carbone et azote extractibles à l'eau chaude et diminué

les fractions d'azote extractibles à l'eau froide. En outre, le passage à une gestion de parcelles en ABC conduisait à une augmentation de MBC aux sites ER, LL, VR, CS et HFC. L'augmentation du carbone traduit une plus grande quantité de substrat disponible pour les organismes, ainsi qu'une augmentation de la biomasse microbienne. Ces augmentations de carbone, azote et biomasse microbienne conduisent à une décomposition efficace de la matière organique, avec un bon recyclage des nutriments qui seront disponibles pour les plantes.

Tous les sites présentant des différences inter-parcellaires étaient ceux où le changement de gestion vers ABC a déjà été mis en place. Cependant, ce changement de gestion est récent (automne 2019 pour les sites ER, HFB, HFC, PM, VR et printemps 2020 pour les sites CH, SC, LB, LL) et il est possible qu'une partie de cette variabilité soit expliquée par les caractéristiques intrinsèques des parcelles. Il est donc important d'assurer le suivi des parcelles pour évaluer leur évolution. Il pourrait également être intéressant d'augmenter le nombre de répétition de parcelles passant d'un mode de gestion à un autre, afin d'avoir une meilleure robustesse statistique

#### 4.3 Utilisation du rapport C/N

Le rapport C/N des sols permet d'estimer la vitesse de dégradation de la MO par les micro-organismes (Curtin et al., 2006). Un rapport C/N faible traduit un contenu élevé du sol en azote et une décomposition rapide, alors qu'un rapport C/N élevé traduit une dominance de l'immobilisation nette sur la minéralisation nette de la matière. (Martins et al., 2011). Les valeurs de C et N utilisées le plus fréquemment pour calculer ce ratio sont les valeurs de C et N totaux. Cependant, les mesures de carbone et azote totaux ne reflètent pas les éléments réellement disponibles pour les micro-organismes, tandis que les fractions extraites à l'eau froide représentent les éléments solubles et donc directement accessibles comme source d'énergie pour les communautés microbiennes. Dans le cadre de cette étude, les rapports mesurés ont été calculés à partir des fractions de carbone et azote extraits à l'eau chaude et froide et on a pu observer que les gammes de valeurs des rapports obtenus après extraction à l'eau chaude étaient beaucoup plus homogènes que celles des rapports C/N obtenus après extraction à l'eau froide, ce qui a déjà été mis en évidence lors de l'établissement des gammes de valeurs de référence du projet Carbiosol (Vincent et al., 2019), et peut être attribué à la facilité de lessivage du carbone soluble, surtout dans les sols cultivés (Kindler et al., 2011). Nos résultats montraient une bonne corrélation entre les rapports C/N obtenus par extraction à l'eau chaude ou à l'eau froide et la biomasse microbienne, confirmant ainsi l'intérêt d'utiliser ces fractions pour le suivi de la biomasse du sol et son activité.

#### 4.4 Aspect sociétal : perception des agriculteurs

L'enquête sociale visait à déterminer si la perception de la qualité des sols et le choix des pratiques agricoles employées varient en fonction du type d'agriculture pratiquée. Notre enquête a touché au total 64 agriculteurs, dont 40,6% pratiquaient l'agriculture de conservation, 32,8% l'agriculture conventionnelle et seulement 3% pratiquaient l'agriculture biologique. Cette distribution peut

expliquer que les agriculteurs interrogés avaient une vision plus optimiste et positive de l'agriculture de conservation que de l'agriculture biologique.

Bien qu'une large part des agriculteurs interrogés étaient prêts à changer leurs habitudes de travail du sol, d'emploi de fongicides et d'herbicides si un effet néfaste de ceux-ci leur était démontré, 47% des interrogés n'étaient pas favorable à l'arrêt de l'emploi des herbicides. Cette réponse est cohérente avec la question concernant l'emploi de produits phytosanitaires puisque 89% des agriculteurs annonçaient employer des herbicides sélectifs sur l'ensemble ou une majorité de leurs parcelles. Des résultats similaires ont été observés au sujet de la fumigation des sols dans les cultures de fraises (Rudolph et al., 2019), les agriculteurs n'étant pas prêts à arrêter cette pratique même si elle affectait négativement les communautés microbiennes bénéfiques aux plantations. Les auteurs soulèvent que cette réaction pourrait être due au manque d'échange entre agriculteurs et chercheurs sur les effets indirects indésirables et les problématiques environnementales liées à l'utilisation de ces produits. Nous remarquons également que l'évaluation de la qualité des sols se fait principalement par observations visuelles plutôt qu'avec des indicateurs scientifiques plus précis. Cette observation est cohérente avec les conclusions de Kelly & Anderson (2016), qui stipulent que les différences d'évaluation de la qualité des sols entre agriculteurs et scientifiques peuvent être un frein aux programmes d'amélioration de qualité des sols, les agriculteurs ayant tendance surestimer la qualité de leurs sols. Parmi les pistes d'actions envisageables pour améliorer la qualité des sols Wallons, on peut envisager d'augmenter les échanges de savoirs entre scientifiques et agriculteurs, notamment grâce à de nouveaux projets communs, permettant une meilleure synergie entre aspects théoriques et contraintes pratiques de l'agriculture. De même, il est primordial de rendre le plus accessible possible les journées d'information et formations autour des différentes pratiques agricoles, afin que les agriculteurs puissent adapter au mieux leurs choix culturaux.

## 5. Conclusion

L'objectif de ce travail était d'analyser la biomasse et l'activité microbienne, ainsi que les fractions de carbones et d'azote extractibles à l'eau d'une prairie de fauche soumise à 4 traitements de fertilisation (2 digestats, lisier et nitrates, projet Perséphone) et des sols cultivés en transition vers l'agriculture biologique de conservation (projet Transae), ainsi que d'analyser la perception de la qualité des sols chez les agriculteurs en fonction de leurs pratiques.

Bien que les essais de fertilisation sur la prairie de fauche aient été mis en place depuis 7 ans, nous n'avons observé un effet de fertilisants que sur le carbone extractible à l'eau froide, sensiblement plus élevé dans le cas de la fertilisation au lisier. Il est possible que les fertilisants n'aient pas d'effet sur l'azote extractible du sol car celui-ci serait lessivé ou consommé par les plantes sans avoir eu le temps de s'accumuler. Nous n'avons pas non plus remarqué d'augmentation de la biomasse microbienne, peut-être limitées par la quantité de carbone disponible.

Nous avons observé des différences significatives entre les sites du projet Transae, avec des valeurs maximales de biomasse microbienne aux sites RB et VR, ainsi que des valeurs maximales de WSC et WSN au site LB. Le site JM se distinguait des autres par une communauté microbienne dominée par les champignons plutôt que les bactéries, et des valeurs élevées de WSN conjuguées à des valeurs faibles de WSC. Bien que les valeurs de biomasse microbienne étaient relativement faibles, nous avons observé une augmentation de celles-ci dans certaines parcelles exploitées en ABC par rapport à la technique propre à l'agriculteur. Le changement de gestion étant récent, il est important de continuer le suivi des parcelles pour confirmer ces résultats.

Sur les 64 personnes ayant répondu à l'enquête, 26 pratiquaient l'agriculture conventionnelle, 21 l'agriculture de conservation et seulement 2 pratiquaient l'agriculture biologique. Nous avons observé que les agriculteurs avaient une vision plus optimiste de l'agriculture de conservation que de l'agriculture biologique, ce qui se ressentait sur leur choix de pratiques. Bien que la préservation de la qualité du sol ait une place importante dans leur réflexion, les indicateurs de qualité des sols utilisés par les agriculteurs diffèrent de ceux utilisés lors d'études scientifiques et sont souvent moins précis. Nous avons mis en évidence la nécessité de continuer les échanges entre scientifiques et agriculteurs autour de la qualité du sol et des problématiques environnementales. Enfin, la création et suivi de projets communs d'expérimentation tels que les projets Transae et Perséphone sont des outils d'avenir nécessaires à la compréhension de l'effet des pratiques sur la qualité des sols.

## Bibliographie

- Adeyolanu, O. D., Are, K. S., Adelana, A. O., Oluwatosin, G. A., Denton, O. A., Ande, O. T., Egbetokun, O., Ogunsumi, L., & Adediran, J. A. (2018). Assessing soil quality issues for crop production function based on farmers' perception: An experience from itapaji watershed in southwestern Nigeria. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(4), 337–345. <https://doi.org/10.18393/ejss.455128>
- Alabouvette, C., Backhouse, D., Steinberg, C., Donovan, N. ., Edel-Hermann, V., & Burgess, L. . (2004). Microbial Diversity in Soil - Effects on Crop Health. In P. Schonning, S. Elmholt, & B. T. Christensen (Eds.), *Managing Soil Quality : Challenges in Modern Agriculture* (pp. 121–138). <https://doi.org/10.1079/9780851996714.0121>
- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology : the science of sustainable agriculture* (J. G. Farrell, S. Hecht, & M. Liebman (eds.); 2nd ed.). Westview Press.
- Ball, B. C. C., Batey, T., & L.J., M. (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, 23(4), 329–337. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>
- Barracough, D., Hyden, M. J., & P, D. G. (1983). Fate of fertilizer nitrogen applied to grassland. I. Field leaching results. In *Journal of soil science* (Vol. 34, Issue 3, pp. 483–497). Blackwell Scientific Publications. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1983.tb01050.x>
- Baudelot, A., & Maillieux, M. (2019). *Les chiffres du bio 2018*. Biowallonie ASBL. <https://mk0biowalloniejo431r.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/05/Le-bio-en-chiffre-2018-final3.pdf>
- Bellayachi, A., Cuvelier, C., Dejemeppe, J., Généreux, C., Maes, E., Marzo, G., Renard, V., & Thiry, V. (2017). *Rapport sur l'état de l'environnement Wallon en 2017*. 368. <http://etat.environnement.wallonie.be>
- Bergans, J., Burny, P., & Lebailly, P. (1988). Caractéristiques principales de l' agriculture en région jurassique. In *Le Pays gaumais* (Vol. 48).
- Biau, A. (2012). The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions. *European Journal of Soil Biology*, 53, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.08.008>
- Bispo, a., Grand, C., & Galsomies, L. (2008). Le programme ADEME "Bioindicateurs de qualité des sols" : *Etude et Gestion Des Sols*, 16, 145–158.
- Boizard, H., Turillon, C., Créatin, V., Tomis, V., & Duparque, A. (2012). *Guide méthodique du test bêche Structure et Action des vers de terre* (Projet Sol-D'Phy). <http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2018/08/Guide-méthode-beche-web.pdf>
- Bousquet, N. (2019). *Reconnaître les stades optimaux pour traiter*.
- Brar, B. S., Singh, K., Dheri, G. S., & Balwinder-Kumar. (2013). Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice-wheat cropping system: Effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil and Tillage Research*, 128, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.10.001>
- Brookes, P. C., Landmann, A., Prugen, G., & Jenkinson, D. S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen : a rapid direct extraction method to mesure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 17(6), 837–842.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0)

- Brussaard, L., Kuiper, T. W., Didden, W. A. M., & De Goede, R.G.M. Bloem, J. (2004). Biological Soil Quality from Biomass to Biodiversity - Importance and Resilience to Management Stress Disturbance. In P. Schonning, S. Elmholt, & B. T. Christensen (Eds.), *Managing Soil Quality : Challenges in Modern Agriculture* (Wallingfor, pp. 139–158).  
<https://doi.org/10.1079/9780851996714.0139>
- Chartin, C., Vincent, Q., Van Wesemael, B., & Carnol, M. (2019). *Développement d'indicateurs de la qualité biologique et du carbone organique du sol pour l'évaluation de l'état des sols en Wallonie : valorisation des acquis et transfert vers les utilisateurs ( CARBIOSOL 5 )*.  
<https://doi.org/1370-6233>
- Cluzeau, D. (2009). Intégration de la biodiversité des sols dans les réseaux de surveillance de la qualité des sols: exemple du programme pilote à l'échelle régionale, le RMQS BioDiv. *Etude et Gestion Des Sols*, 16(3–4), 187–201.
- Coelho, J. J., Hennessy, A., Casey, I., Bragança, C. R. S., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2020). Biofertilisation with anaerobic digestates: A field study of effects on soil microbial abundance and diversity. *Applied Soil Ecology*, 147(August 2019), 103403.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103403>
- Cui, X., Zhang, Y., Gao, J., Peng, F., & Gao, P. (2018). Long-term combined application of manure and chemical fertilizer sustained higher nutrient status and rhizospheric bacterial diversity in reddish paddy soil of Central South China. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-34685-0>
- Curtin, D., Wright, C. E., Beare, M. H., & McCallum, F. M. (2006). Hot Water-Extractable Nitrogen as an Indicator of Soil Nitrogen Availability. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1512–1521. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0338>
- Davet, P. (1996). Interactions entre microorganismes et plantes. In Quae (Ed.), *Vie microbienne du sol et production végétale* (Mieux Comp, pp. 201–276). Quae.  
<https://books.google.be/books?id=mdYiCwAAQBAJ>
- de Vries, F. T., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L., & Bloem, J. (2006). Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2092–2103. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.008>
- Dijkstra, F. A., Hobbie, S. E., Reich, P. B., & Knops, J. M. H. (2005). Divergent effects of elevated CO<sub>2</sub>, N fertilization, and plant diversity on soil C and N dynamics in a grassland field experiment. *Plant and Soil*, 272(1–2), 41–52. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-3848-6>
- Dumistrascu, M., & Stefanescu, S. L. (2018). Stakeholders' perceptions on soil quality relevance and on the impact of soil protection policies in romania. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*, 751–758. <https://doi.org/10.5593>
- Dumont, A. M., Gasselin, P., & Baret, P. V. (2020). Transitions in agriculture: Three frameworks highlighting coexistence between a new agroecological configuration and an old, organic and conventional configuration of vegetable production in Wallonia (Belgium). *Geoforum*, 108(March 2019), 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.11.018>
- Dumont, A., Stassart, P. M., Vanloqueren, G., & Baret, P. (2014). *Clarifier les dimensions socio-économiques et politiques de l'agroécologie : au delà des principes, des compromis*.
- FAO. (2015). *Les sols sont une ressource non renouvelable*.

<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/fr/c/278960/>

- Finlay, M. R. (2013). Europe's Green Revolution and Others Since: The Rise and Fall of Peasant-Friendly Plant Breeding by Jonathan Harwood (review). *Technology and Culture*, 54(4), 988–990. <https://doi.org/10.1353/tech.2013.0128>
- Gennen, J., & Luxen, P. (2015). *La valorisation du digestat de lisier en prairie permanente*. 146–147.
- Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: A sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(9), 1231–1243. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00186-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00186-X)
- Ghani, A., Sarathchandra, U., Ledgard, S. F., Dexter, M., & Lindsey, S. (2006). *Bioavailability of Dissolved Organic Carbon and Nitrogen Leached or Extracted From Pasture Soils*. 1–9.
- Glæsner, N., Helming, K., & de Vries, W. (2014). Do current European policies prevent soil threats and support soil functions? *Sustainability (Switzerland)*, 6(12), 9538–9563. <https://doi.org/10.3390/su6129538>
- Gruver, J. B., & Weil, R. R. (2007). Farmer perceptions of soil quality and their relationship to management-sensitive soil parameters. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(4), 271–281. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001834>
- Guo, Z., Wan, S., Hua, K., Yin, Y., Chu, H. Y., Wang, D., & Guo, X. (2020). Fertilization regime has a greater effect on soil microbial community structure than crop rotation and growth stage in an agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 149(40), 103510. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103510>
- Hardy, B. (2019). Statut organique et potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote des sols en agriculture biologique. *Itinéraires BIO*, 49, 40–45. [https://mk0biowalloniejo431r.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/11/Brochure-A4-Itineraire-BIO-49\\_web.pdf](https://mk0biowalloniejo431r.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/11/Brochure-A4-Itineraire-BIO-49_web.pdf)
- Hauteclair, P. (2010). Prairie de fauche, prairies fleuries. *Fiche de Gestion - Réseau Nature Natagora*, 1–24. [http://www.natagora.be/fileadmin/Reseau\\_nature/Fiche\\_de\\_gestion/Prairies\\_Fleuries\\_Fauches.pdf](http://www.natagora.be/fileadmin/Reseau_nature/Fiche_de_gestion/Prairies_Fleuries_Fauches.pdf)
- Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol Biochem*, 32, 211–219. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00148-0)
- Herrick, J. E., Whitford, W. G., De Soyza, A. G., Van Zee, J. W., Havstad, K. M., Seybold, C. A., & Walton, M. (2001). Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44(1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00173-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00173-9)
- Hobbs, P. R. (2007). Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *The Journal of Agricultural Science*, 145(02), 127. <https://doi.org/10.1017/S0021859607006892>
- Hu, S., Chapin, F. S., Firestone, M. K., Field, C. B., & Chiariello, N. R. (2001). Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO<sub>2</sub>. *Nature*, 409(6817), 188–191. <https://doi.org/10.1038/35051576>
- Jeffery, S., Gardi, C., & Jones, A. (2013). *Atlas européen de la biodiversité des sols* (Vol. 24375) [Article]. Publications Office.

- Karlen, D. L., Andrews, S. ., & Wienhold, B. . (2004). Soil Quality, Fertility and Health - Historical Context, Status and Perspectives. In P. Schonning, S. Elmholt, & B. T. Christensen (Eds.), *Managing Soil Quality : Challenges in Modern Agriculture* (CAB Intern, pp. 17–33). <https://doi.org/10.1079/9780851996714.0017>
- Kelly, A. C., & Anderson, C. L. (2016). Comparing farmer and measured assessments of soil quality in Tanzania: Do they align? *Journal of Natural Resources and Development*, *6*, 55–65. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v6i0.06>
- Kindler, R., Siemens, J., Kaiser, K., Walmsley, D. C., Bernhofer, C., Buchmann, N., Cellier, P., Eugster, W., Gleixner, G., Grunwald, T., Heim, A., Ibrom, A., Jones, S. K., Jones, M., Klumpp, K., Kutsch, W., Larsen, K. S., Lehuger, S., Loubet, B., ... Kaupenjohann, M. (2011). Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance. *Global Change Biology*, *17*(2), 1167–1185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02282.x>
- Knoden, D., Lambert, R., Nihoul, P., Stilmant, D., Pochet, P., Crémer, S., & Luxen, P. (2007). Fertilisation raisonnée des prairies. *Les Livrets de l'Agriculture*, *15*, 1–44. [http://agriculture.wallonie.be/apps/spip\\_wolwin/IMG/pdf/371005\\_Aides\\_a\\_l\\_agriculture\\_15.pdf](http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/371005_Aides_a_l_agriculture_15.pdf)
- Kohler, F., Thierry, C., & Marchand, G. (2014). *Multifunctional Agriculture and Farmers' Attitudes : Two Case Studies in Rural France*. 929–949. <https://doi.org/10.1007/s10745-014-9702-4>
- Krüger, I., Chartin, C., van Wesemael, B., & Carnol, M. (2018). Defining a reference system for biological indicators of agricultural soil quality in Wallonia, Belgium. *Ecological Indicators*, *95*, 568–578. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.010>
- Krüger, I., Chartin, C., van Wesemael, B., Malchair, S., & Carnol, M. (2017). *Integrating biological indicators in a Soil Monitoring Network (SMN) to improve soil quality diagnosis – a study case in Southern Belgium (Wallonia)*.
- Lal, R. (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, *60*(2), 158–169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>
- Le Campion, A., Oury, F. X., Heumez, E., & Rolland, B. (2020). Conventional versus organic farming systems: dissecting comparisons to improve cereal organic breeding strategies. *Organic Agriculture*, *10*(1), 63–74. <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00249-3>
- Legrand, F., Picot, A., Cobo-Díaz, J. F., Carof, M., Chen, W., & Le Floch, G. (2018). Effect of tillage and static abiotic soil properties on microbial diversity. *Applied Soil Ecology*, *132*(February), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.016>
- Li, J. (2018). Response of soil organic carbon fractions, microbial community composition and carbon mineralization to high-input fertilizer practices under an intensive agricultural system. *PLoS ONE*, *13*(4), e0195144. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195144>
- Lori, M., De Deyn, G., Symnaczyk, S., Mäder, P., & Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity — A meta-analysis and meta-regression. *Plos One*, *12*(7), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>
- Martins, T., Saab, S. C., Milori, D. M. B. P., Brinatti, A. M., Rosa, J. A., Cassaro, F. A. M., & Pires, L. F. (2011). Soil organic matter humification under different tillage managements evaluated by Laser Induced Fluorescence (LIF) and C/N ratio. *Soil and Tillage Research*, *111*(2), 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.009>
- Migliorini, P., Gkissakis, V., Gonzalez, V., Raigon, M. D., & Barberi, P. (2018). Agroecology in



- mediterranean Europe: Genesis, state and perspectives. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8), 2724. <https://doi.org/10.3390/su10082724>
- Moche, M., Gutknecht, J., Schulz, E., Langer, U., & Rinklebe, J. (2015). Monthly dynamics of microbial community structure and their controlling factors in three floodplain soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 90, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.07.006>
- Mollier, P. (2013). *Agriculture de conservation*. INRAE.Fr. <https://www.inrae.fr/actualites/agriculture-conservation>
- Morelle, M., & Braibant, J. (2018). *L'Agriculture de Conservation en Wallonie Diversité et verrouillages*. Université Catholique de Louvain.
- Nakagawa, S., & Schielzeth, H. (2013). A general and simple method for obtaining R<sup>2</sup> from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(798), 133–142. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x>
- Naskeo. (2015). *La valorisation du digestat*. <http://naskeo.com/la-methanisation/la-valorisation-du-digestat/>
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473–492. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>
- Ollivier, G. (2018). Agroecological transitions: What can sustainability transition frameworks teach us? an ontological and empirical analysis. *Ecology and Society*, 23(2), 5. <https://doi.org/10.5751/ES-09952-230205>
- Ostergard, H., Finckh, M. R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S. P., Kristensen, K., Lammerts van Bueren, E. T., Mascher, F., Munk, L., & Wolfe, M. S. (2009). Time for a shift in crop production: embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(9), 1439–1445. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3615>
- Piazzalunga. (2012). *Evaluation des flux d'éléments contaminants liés aux matières fertilisantes épandues sur les sols agricoles en Wallonie*.
- Puget, P., Angers, D. A., & Chenu, C. (1998). Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00103-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00103-5)
- Reeve, J. R., Hoagland, L. A., Villalba, J. J., Carr, P. M., Atucha, A., Cambardella, C., Davis, D. R., & Delate, K. (2016). Organic farming, soil health, and food quality: Considering possible links. In *Advances in Agronomy* (Vol. 137). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.003>
- Rieucan, L. (1962). Où en est le remembrement rural en France ? *L'information Géographique*, 26(4), 161–165. <https://doi.org/10.3406/rural.1965.1216>
- Riou, V., & Chemildin Prevost-Bourre, N. (2018). Les Bactéries Du Sol. In *Bulletin Sol et Agronomie des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire*. [www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)
- Rosillon, D., Planchon, V., Eylesbosch, D., Meza, R., Montfort, B., Roisin, C., Bodson, B., Henriët, F., Dumont, B., Mathieu, O., Vandenberghe, C., Blondiau, L., Collin, C., Destain, J.-P., Bataille, C., Duvivier, M., Heens, B., Chavalle, S., De Proft, M., & Burny, P. (2015). *Livre blanc : céréales* (B. Watillon & B. Bodson (eds.)). Gembloux Agro-Bio Tech. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/189371>
- Rudolph, R. E., Devetter, L. W., Benedict, C., & Zasada, I. A. (2019). Raspberry growers' perceptions

- and practices regarding soil quality, cover crops, and fumigation. *HortTechnology*, 29(4), 482–489. <https://doi.org/10.21273/HORTECH04354-19>
- Schonning, P., Elmholt, S., & Christensen, B. T. (2004). Soil Quality Management-Concepts and Terms. In *Managing Soil Quality : Challenges in Modern Agriculture* (pp. 1–15).
- Seghers, D. (2003). Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on activity and structure of the methanotrophic community in agricultural soils. *Environmental Microbiology*, 5(10), 867–877. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2003.00477.x>
- Selosse, M.-A. (2017). *Jamais seul : ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations* (F. Hallé (ed.); Acte Sud N). Actes Sud.
- Sigwalt, A., Pain, G., Pancher, A., Vincent, A., Sigwalt, A., Pain, G., Pancher, A., & Vincent, A. (2012). *Collective Innovation Boosts Biodiversity in French Vineyards Biodiversity in French Vineyards. 0046.*
- Silva, A. P. da, Babujia, L. C., Franchini, J. C., Ralisch, R., Hungria, M., & Guimarães, M. de F. (2014). Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 142, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>
- Socher, S. A., Prati, D., Boch, S., Müller, J., Klaus, V. H., Hölzel, N., & Fischer, M. (2012). Direct and productivity-mediated indirect effects of fertilization, mowing and grazing on grassland species richness. *Journal of Ecology*, 100(6), 1391–1399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.02020.x>
- SPW. (2019a). Consommation d'engrais en agriculture. In 2019-04-23. <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AGRI 5.html>
- SPW. (2019b). *Portail de l'agriculture wallonne- Agriculture Biologique.* <https://agriculture.wallonie.be/principes-et-informations-generales>
- SPW. (2019c). *Production Biologique.* <https://agriculture.wallonie.be/principes-et-informations-generales>
- Strosser, E. (2011). Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *Journal of Agrobiological*, 27(2), 49–60. <https://doi.org/10.2478/s10146-009-0008-x>
- Swift, M., & Woome, P. (1993). Organic matter and the sustainability of agricultural systems : definition and measurement. In K. Mulongoy & R. Merckx (Eds.), *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture* (pp. 3–18). John Wiley & Sons, Ltd.
- Thrall, P. H. (2011). Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary Applications*, 4(2), 200–215. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00179.x>
- Tomis, V., Turillon, C., & Duparque, A. (2017). *Diagnostic de la structure du sol avec le mini-profil 3D. 1.* [https://meuse.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Grand-Est/037\\_Inst-Meuse/Grandes\\_cultures/innovMINIprofil.pdf](https://meuse.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/037_Inst-Meuse/Grandes_cultures/innovMINIprofil.pdf)
- Tosser, V., & Arvalis. (2018). *Comment installer et relever des pièges pour suivre les populations.* <https://www.arvalis-infos.fr/comment-installer-et-relever-des-pieges-pour-suivre-les-populations--@/view-21732-arvarticle.html>
- Trigalet, S., Chartin, C., Krüger, I., Carnol, M., Van Oost, K., & van Wesemael, B. (2017). Soil organic carbon fractionation for improving agricultural soil quality assessment – a case study in Southern Belgium (Wallonia). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(3),

191–200. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13422>

- Tsachidou, B., Scheuren, M., Gennen, J., Debbaut, V., Toussaint, B., Hissler, C., George, I., & Delfosse, P. (2019). Biogas residues in substitution for chemical fertilizers: A comparative study on a grassland in the Walloon Region. *Science of the Total Environment*, 666, 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.238>
- Valbiom, & Edora. (2012). Comprendre la biométhanisation. *FAQ – Biométhanisation*, 18.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Langhans, C., Clymans, W., Vanuytrecht, E., Merckx, R., & Raes, D. (2012). Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt. In *Soil & tillage research* (Vol. 122, pp. 1–11). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.001>
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. In *Soil biology & biochemistry*. (Vol. 19, Issue 6, pp. 703–707). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Vankeerberghen, A., & Stassart, P. M. (2016). The transition to conservation agriculture: an insularization process towards sustainability. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(4), 392–407. <https://doi.org/10.1080/14735903.2016.1141561>
- Vincent, Q., Chartin, C., Krüger, I., van Wesemael, B., & Carnol, M. (2019). *La qualité biologique et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie La qualité biologique et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie*. SPW, DGARNE.
- Virto, I., Imaz, M. J., Fernández-ugalde, O., Gartzia-bengoetxea, N., Enrique, A., & Bescansa, P. (2015). Soil Degradation and Soil Quality in Western Europe: Current Situation and Future Perspectives. *Sustainability*, 7, 313–365. <https://doi.org/10.3390/su7010313>
- Walsh, J. J., Jones, D. L., Edwards-Jones, G., & Williams, A. P. (2012). Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(6), 840–845. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200214>
- Wander, M. (2004). Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC ... (Issue October). <https://doi.org/10.1201/9780203496374.ch3>
- Williams, A., & Hedlund, K. (2013). Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Applied Soil Ecology*, 65, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.019>
- Williams, A., & Hedlund, K. (2014). Indicators and trade-offs of ecosystem services in agricultural soils along a landscape heterogeneity gradient. *Applied Soil Ecology*, 77, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.01.001>
- Zhao, A., Zhang, M., & He, Z. (2013). Spectroscopic Characteristics and Biodegradability of Cold and Hot Water-Extractable Soil Organic Matter under Different Land Uses in Subarctic Alaska. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(20), 3030–3048. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.829086>

#### Bibliographie des packages R utilisés

Hadley Wickham and Jennifer Bryan (2019). readxl: Read Excel Files. R package version 1.3.1.

<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>

Ian Fellows (2018). wordcloud: Word Clouds. R package version 2.6.  
<https://CRAN.R-project.org/package=wordcloud>

John Fox and Sanford Weisberg (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks. CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Kamil Bartoń (2020). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17.  
<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>

Manuel Morales, with code developed by the R Development Core Team, with general advice from the R-help listserv community and especially Duncan Murdoch. (2020).sciplot: Scientific Graphing Functions for Factorial Designs. R package version 1.2-0.  
<https://CRAN.R-project.org/package=sciplot>

Milan Bouchet-Valat (2020). SnowballC: Snowball Stemmers Based on the C 'libstemmer' UTF-8 Library. R package version 0.7.0.  
<https://CRAN.R-project.org/package=SnowballC>

Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2020). \_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models\_. R package version 3.1-148  
<https://CRAN.R-project.org/package=nlme>

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.  
<https://www.R-project.org/>.

Torsten Hothorn, Frank Bretz and Peter Westfall (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. Biometrical Journal 50(3), 346--363.

Toshiaki Ara (2017). CIplot: Functions to Plot Confidence Interval. R package version 1.0.  
<https://CRAN.R-project.org/package=CIplot>

Annexe Ia : Liste des échantillons, sites et techniques de travail appliquées sur les parcelles du projet Transae.

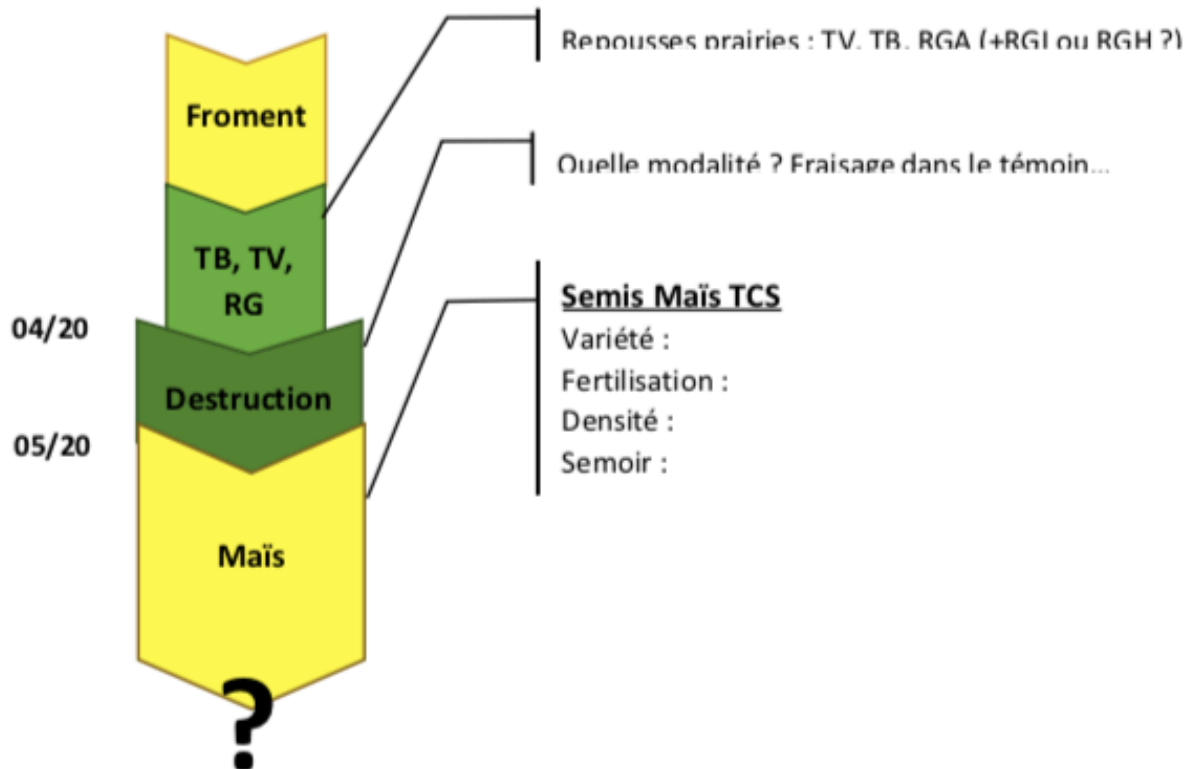
| Numéro d'échantillon | Site | Technique appliquée | date de séparation des parcelles |
|----------------------|------|---------------------|----------------------------------|
| 1                    | BC   | ABC                 | à venir                          |
| 2                    | BC   | ABC                 | à venir                          |
| 3                    | BC   | ABC                 | à venir                          |
| 4                    | BC   | TCS                 | à venir                          |
| 5                    | BC   | TCS                 | à venir                          |
| 6                    | BC   | TCS                 | à venir                          |
| 7                    | CH   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 8                    | CH   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 9                    | CH   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 10                   | CH   | TCS                 | printemps 2020                   |
| 11                   | CH   | TCS                 | printemps 2020                   |
| 12                   | CH   | TCS                 | printemps 2020                   |
| 13                   | CS   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 14                   | CS   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 15                   | CS   | ABC                 | printemps 2020                   |
| 16                   | CS   | Labour              | printemps 2020                   |
| 17                   | CS   | Labour              | printemps 2020                   |
| 18                   | CS   | Labour              | printemps 2020                   |
| 19                   | ER   | ABC                 | automne 2019                     |
| 20                   | ER   | ABC                 | automne 2019                     |
| 21                   | ER   | ABC                 | automne 2019                     |
| 22                   | ER   | Labour              | automne 2019                     |
| 23                   | ER   | Labour              | automne 2019                     |
| 24                   | ER   | Labour              | automne 2019                     |
| 25                   | HFB  | ABC                 | automne 2019                     |
| 26                   | HFB  | ABC                 | automne 2019                     |
| 27                   | HFB  | ABC                 | automne 2019                     |
| 28                   | HFB  | Labour              | automne 2019                     |
| 29                   | HFB  | Labour              | automne 2019                     |
| 30                   | HFB  | Labour              | automne 2019                     |
| 31                   | HFC  | ABC                 | automne 2019                     |
| 32                   | HFC  | ABC                 | automne 2019                     |
| 33                   | HFC  | ABC                 | automne 2019                     |

|    |     |        |                    |
|----|-----|--------|--------------------|
| 34 | HFC | TCS    | automne 2019       |
| 35 | HFC | TCS    | automne 2019       |
| 36 | HFC | TCS    | automne 2019       |
| 37 | JM  | ABC    | à venir            |
| 38 | JM  | ABC    | à venir            |
| 39 | JM  | ABC    | à venir            |
| 40 | JM  | TCS    | à venir            |
| 41 | JM  | TCS    | à venir            |
| 42 | JM  | TCS    | à venir            |
| 43 | LB  | ABC    | printemps 2020     |
| 44 | LB  | ABC    | printemps 2020     |
| 45 | LB  | ABC    | printemps 2020     |
| 46 | LB  | TCS    | printemps 2020     |
| 47 | LB  | TCS    | printemps 2020     |
| 48 | LB  | TCS    | printemps 2020     |
| 49 | LL  | ABC    | printemps 2020     |
| 50 | LL  | ABC    | printemps 2020     |
| 51 | LL  | ABC    | printemps 2020     |
| 52 | LL  | TCS    | printemps 2020     |
| 53 | LL  | TCS    | printemps 2020     |
| 54 | LL  | TCS    | printemps 2020     |
| 55 | PM  | ABC    | automne 2019       |
| 56 | PM  | ABC    | automne 2019       |
| 57 | PM  | ABC    | automne 2019       |
| 58 | PM  | Labour | automne 2019       |
| 59 | PM  | Labour | automne 2019       |
| 60 | PM  | Labour | automne 2019       |
| 61 | RB  | ABC    | aucune information |
| 62 | RB  | ABC    | aucune information |
| 63 | RB  | ABC    | aucune information |
| 64 | RB  | TCS    | aucune information |
| 65 | RB  | TCS    | aucune information |
| 66 | RB  | TCS    | aucune information |
| 67 | VR  | ABC    | automne 2019       |
| 68 | VR  | ABC    | automne 2019       |
| 69 | VR  | ABC    | automne 2019       |
| 70 | VR  | TCS    | automne 2019       |
| 71 | VR  | TCS    | automne 2019       |
| 72 | VR  | TCS    | automne 2019       |

Abréviations : **DAP** : Fertilisation localisée à base de P (18-46-0), **IR** : Inter-rang, **PC** : Plantes compagnes, **RG** : Ray-grass, **RGA** : Ray-grass anglais, **RGH** : Ray-grass hybride, **RGI** : Ray-grass italien, **SD** : Semis-direct, **ST** : Strip-till, **ST VG** : Strip-till végétal, **TA** : Trèfle d'alexandrie, **TB** : Trèfle blanc, **TCS** : Techniques culturales simplifiées, **TI** : Trèfle incarnat, **TV** : Trèfle violet

## Benoit Cossée de Maulde

Grande cultures en Agriculture Biologique  
Maulde (région limoneuse hennuyère)



### Remarques :

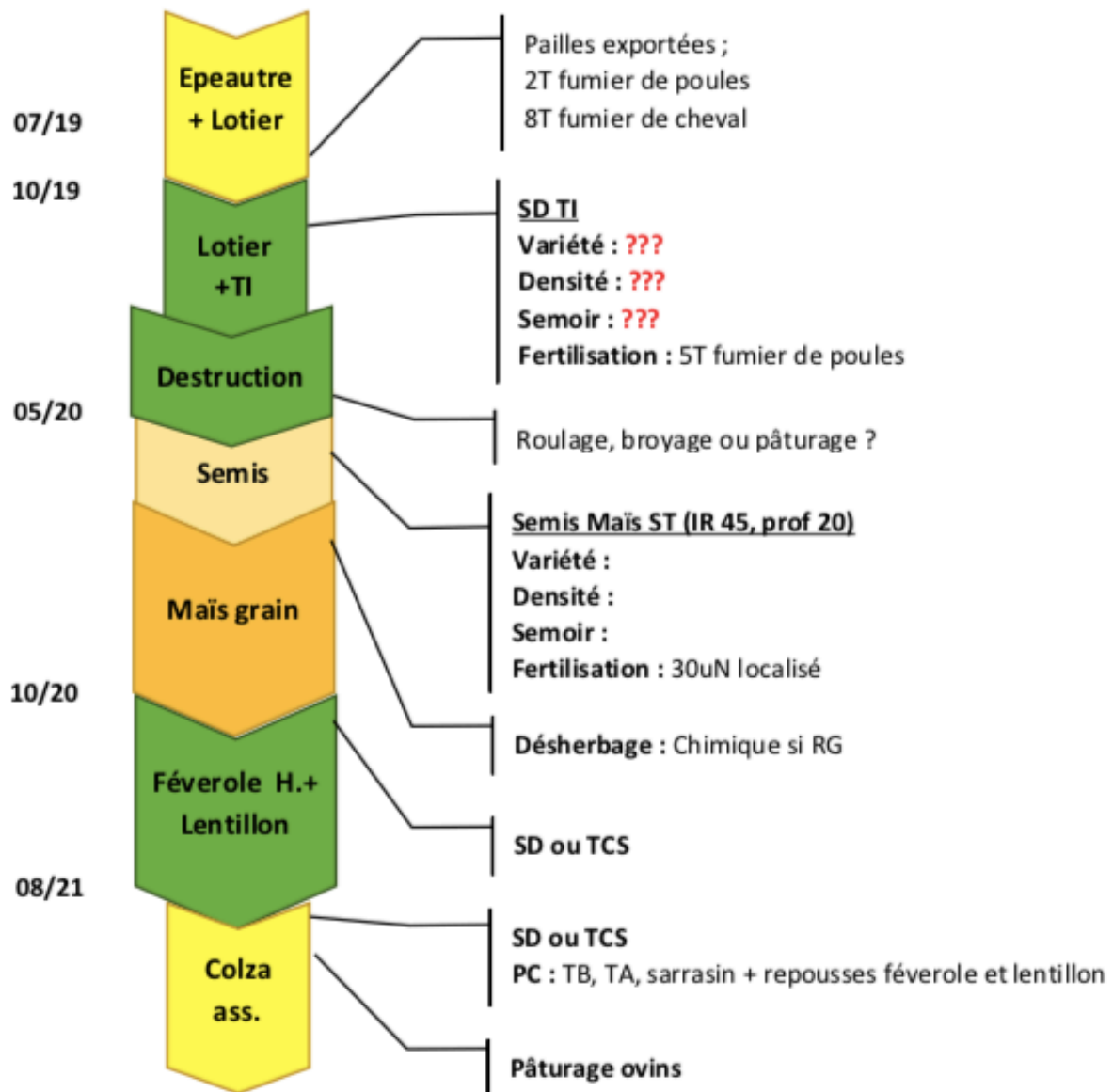
Prévu semis d'épeautre lentillon en 11/19, annulé à cause des mauvaises conditions

## Claude Henricot

Grandes cultures en Agriculture de Conservation

Corbais (Sablo-Limoneux)

Objectifs : Réduire les phytos, se passer de glyphosate dès maintenant



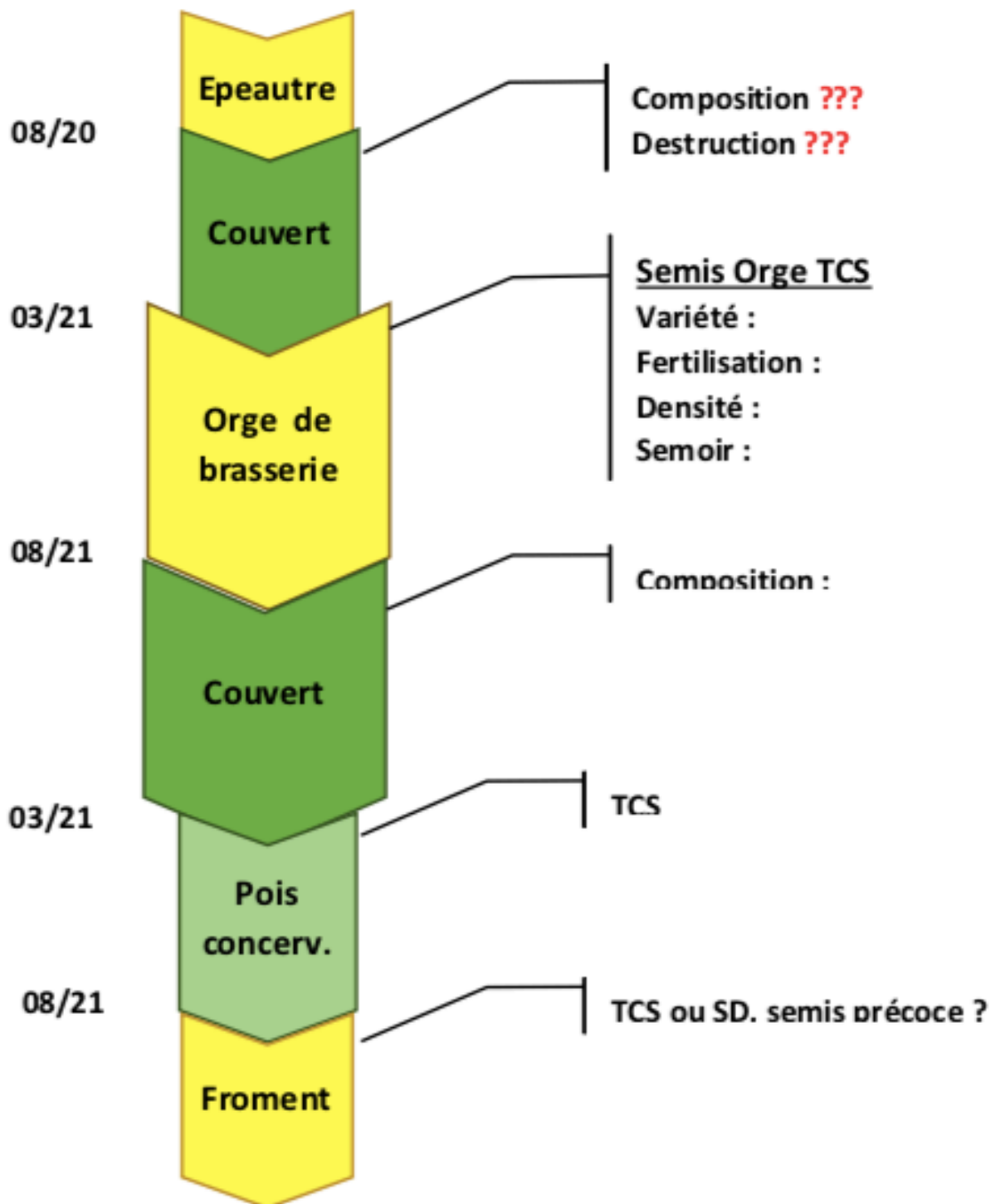
### Remarques :

Il était prévu de semer un biomax mais le lotier était assez présent pour le maintenir.  
Très bonne levée du TI mais gros dégâts de limaces



# Christian Schippers

Grandes cultures et cultures légumières en Agriculture Biologique  
Antheit (Région limoneuse-Condroz)

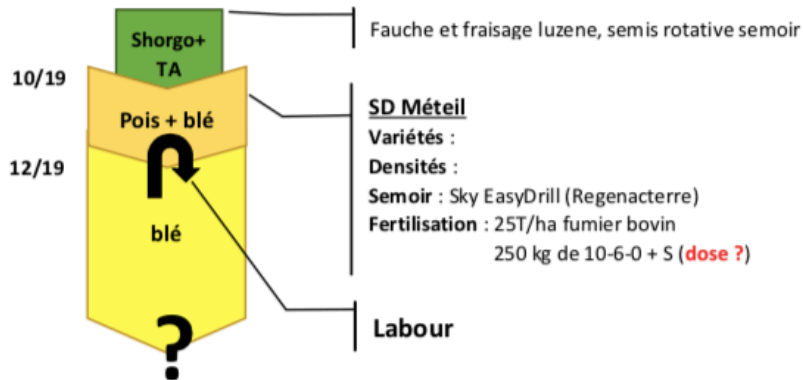


## Remarques :

Biomasse couvert à faire...

## Hugues Falys (AB)

Grandes cultures et cultures fourragères en Agriculture Biologique  
Louvain-la-Neuve (Sablo-limoneux)



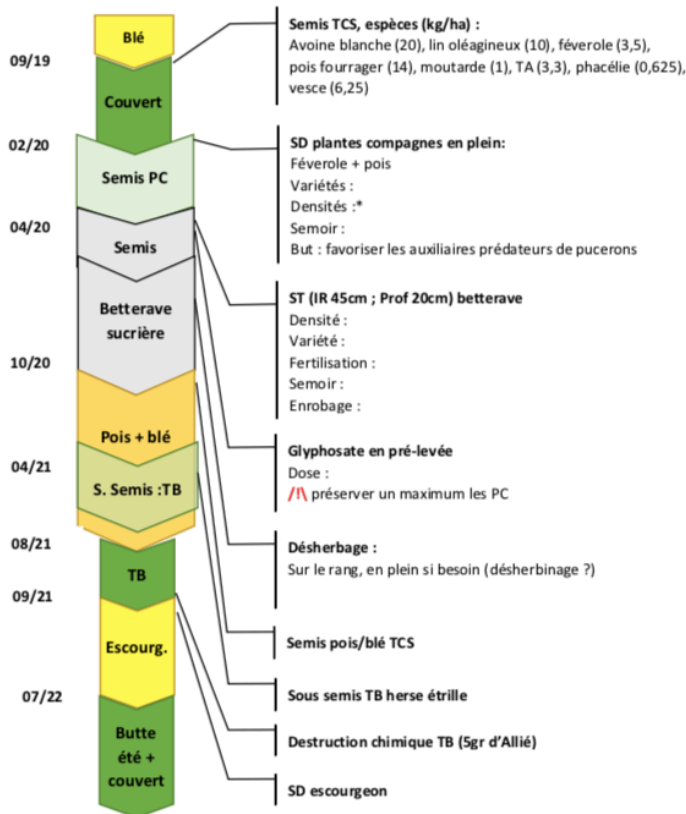
### Remarques :

Pas de levée du SD de méteil à cause des conditions trop humides en surface.

Prévu à la base : SD de méteil dans les chaumes de shorgo, semis de lotier à la herse (éventuellement complété par un SD de biomax à la moisson), puis ST ou TCS de maïs ensilage

## Hugues Falys (AC)

Grandes cultures et cultures fourragères en Agriculture de conservation  
Louvain-la-Neuve (Sablo-limoneux)



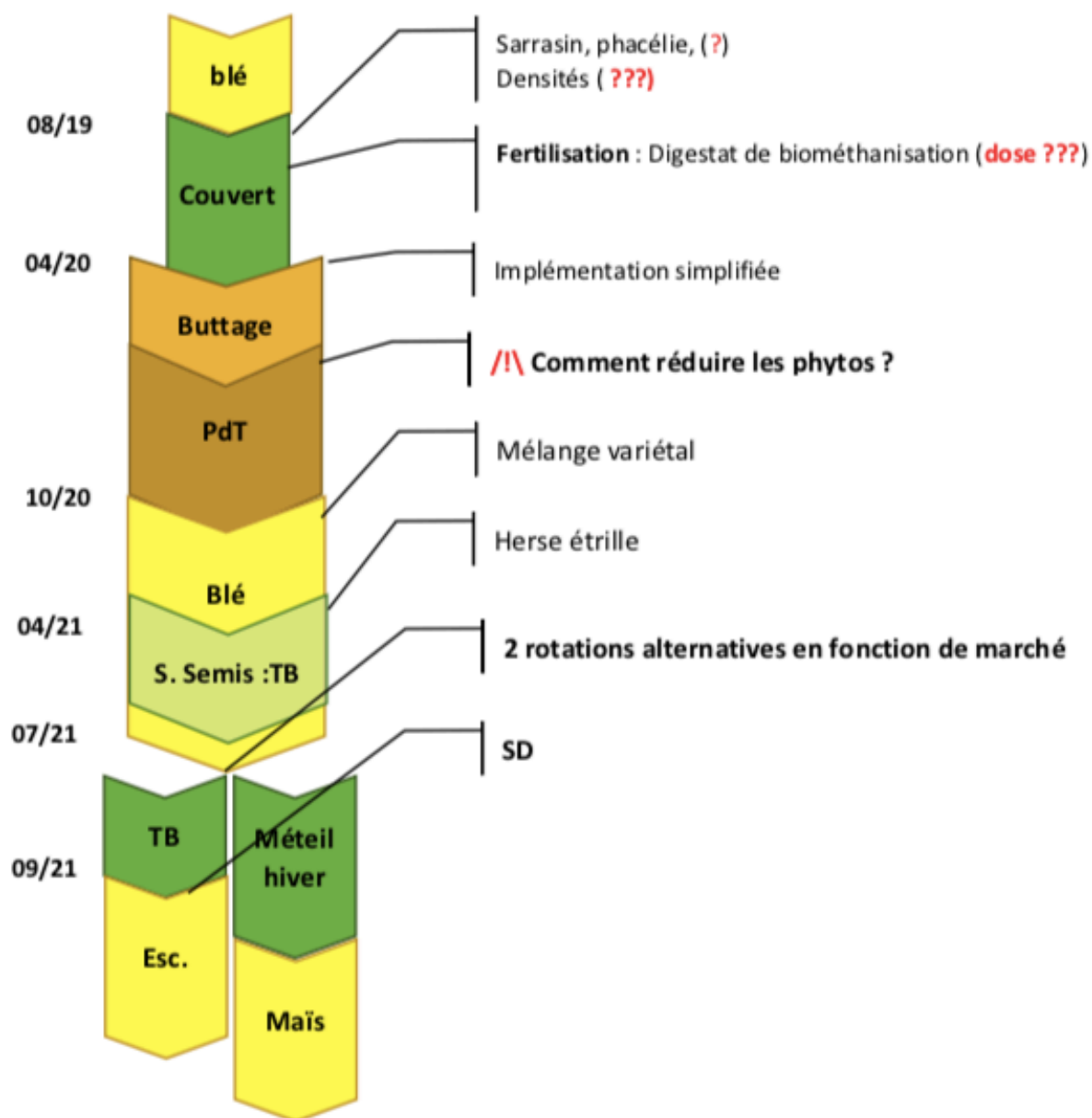
### Remarques :

Prévu : SD des plantes compagnes (féverole et pois) à l'automne au strip-till non réalisé à cause des conditions météo. Objectifs : la féverole nourrit les auxiliaires adultes par son nectar extra floral (cf formation auxiliaires), le pois attire précocement des pucerons pour encourager la ponte et nourrir les larves des auxiliaires.

## Jean Marlier

Grandes cultures en Agriculture de Conservation

Thuin (Région limoneuse/Condroz)



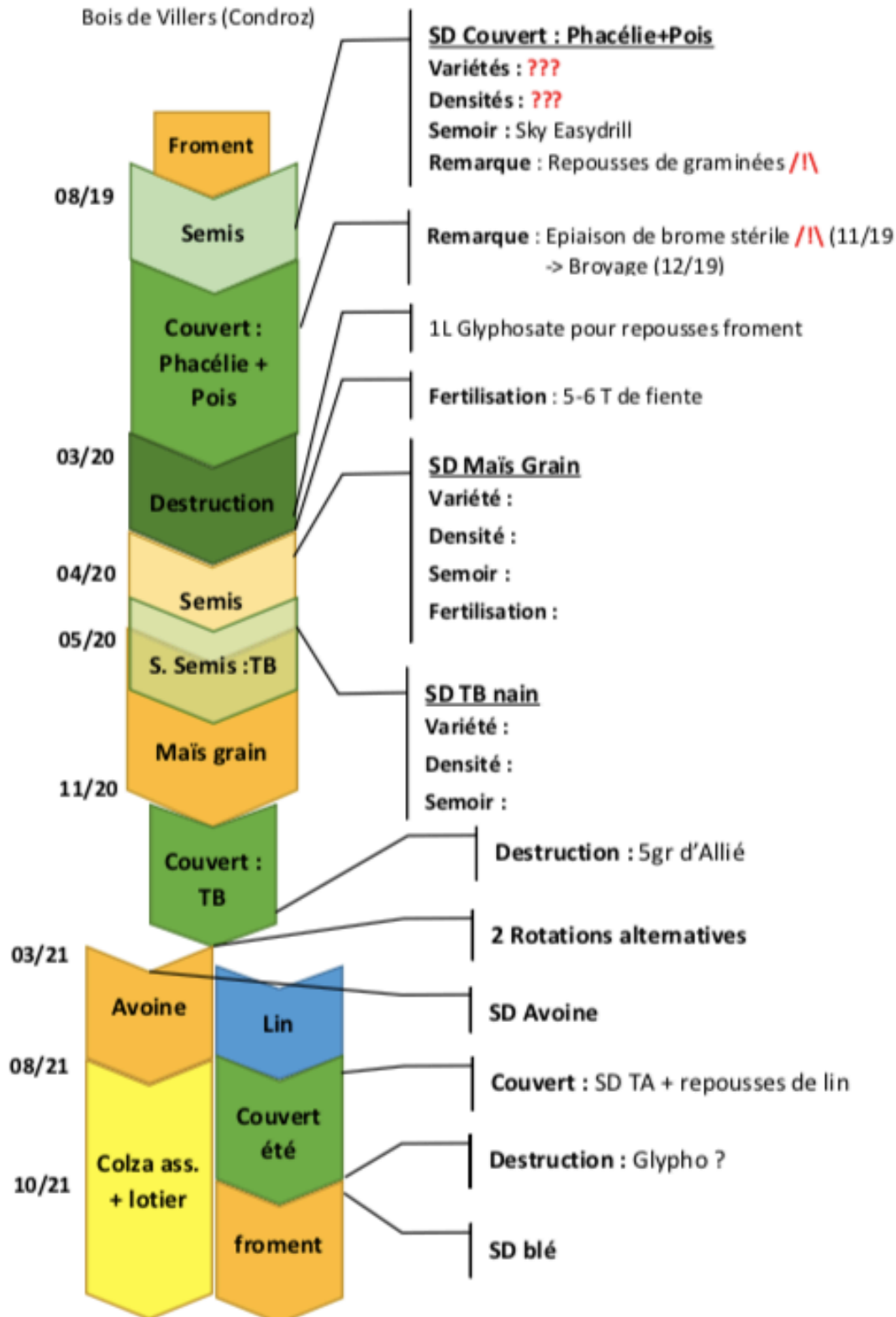
### Remarques :

Si utilisation de variété(s) résistantes en PdT, elles doivent être acceptées par l'industriel.

## Laurent Bournonville

Grandes culture en Agriculture de Conservation

Bois de Villers (Condroz)

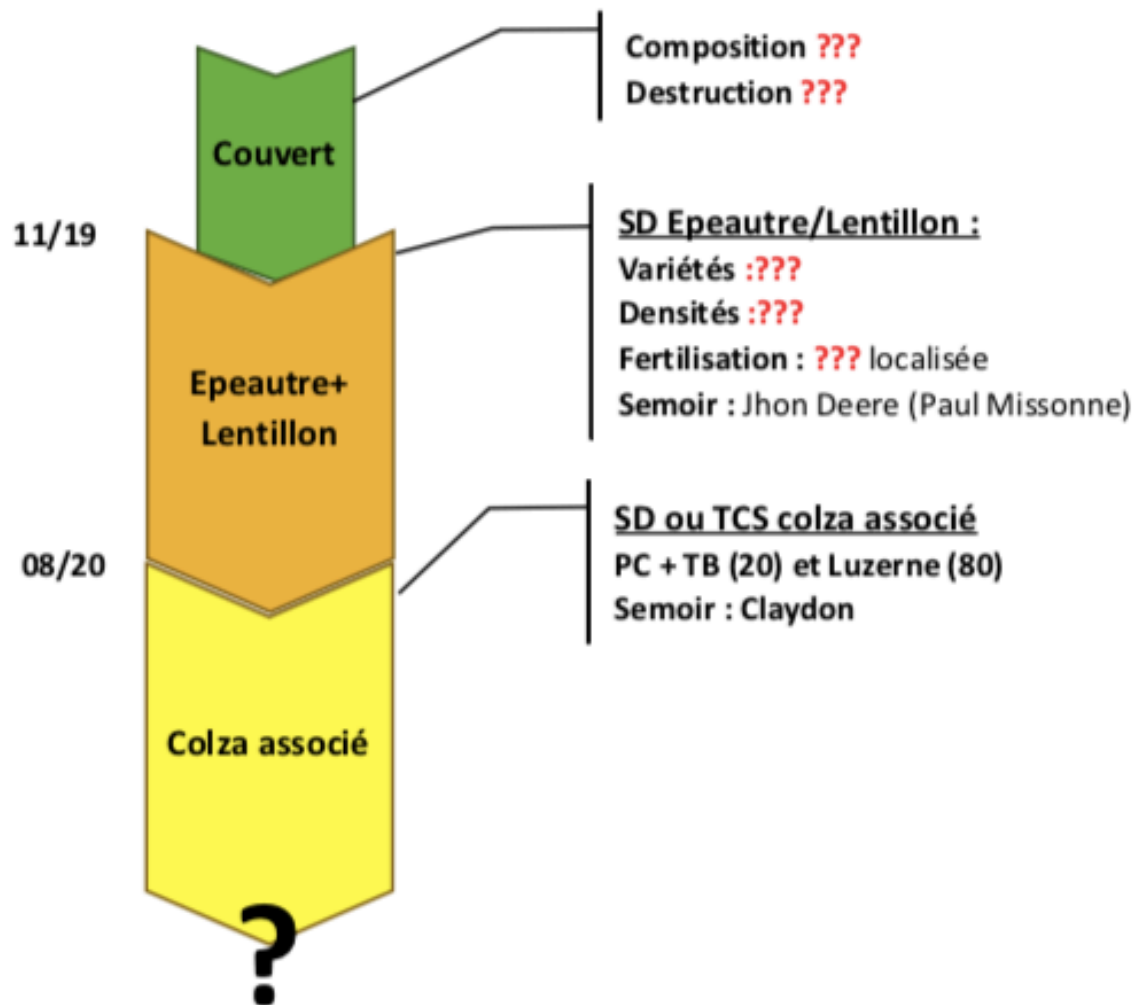


### Remarques :

Un double couvert était prévu en 2019-2020 (SD pois-féverole en 11/19). Pas réalisé à cause des repousses de graminées qui aurait demandé un passage de glypho supplémentaire + mauvaises conditions météo

## Philippe Mattez

Grandes cultures et cultures légumières en Agriculture Biologique  
Courcelles (Région limoneuse)

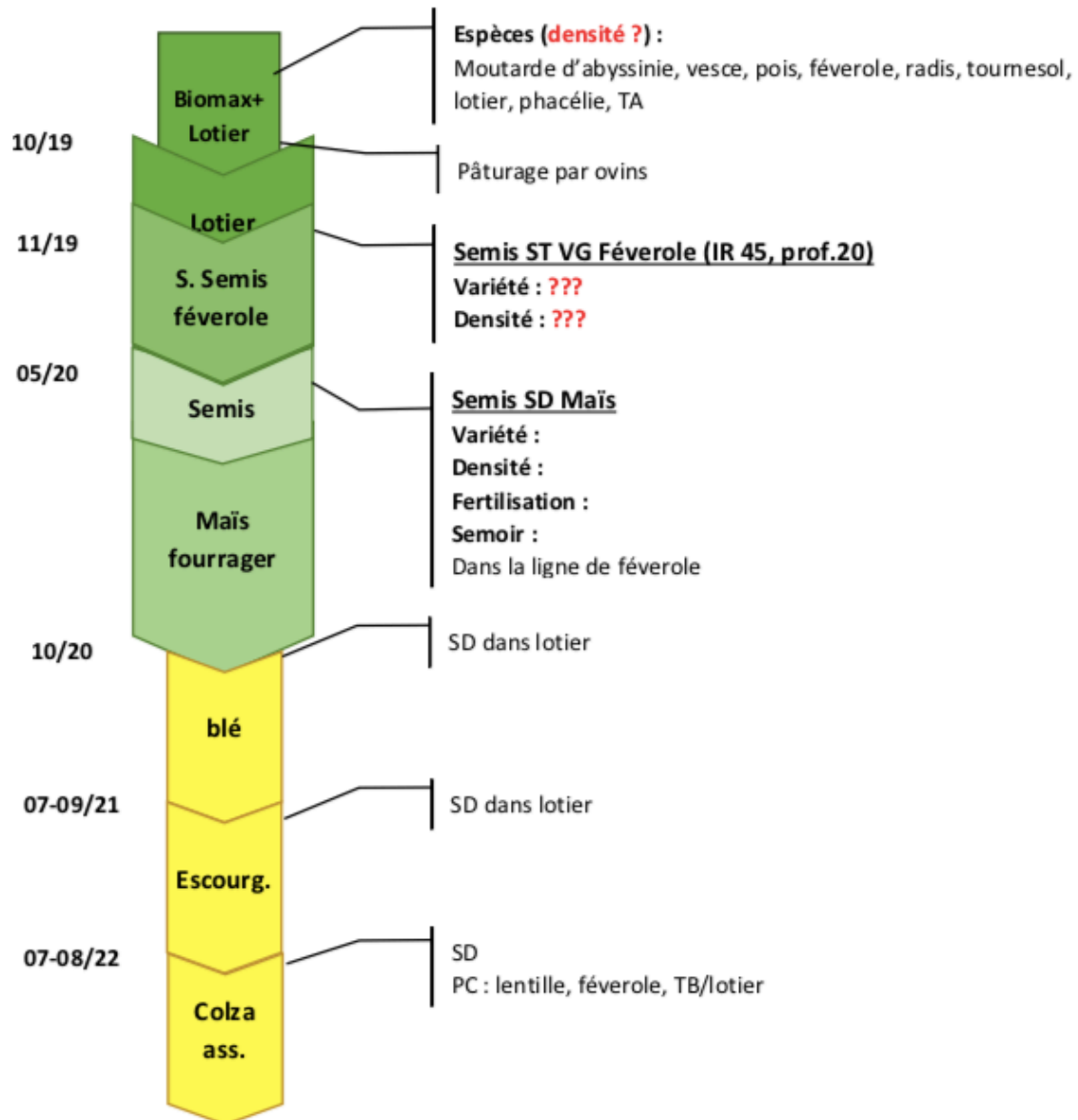


### Remarques :

Suivit levée epeautre/Lentillon à faire...

## Louis Louppe

Grandes cultures en Agriculture de Conservation  
Clavier (Condroz)

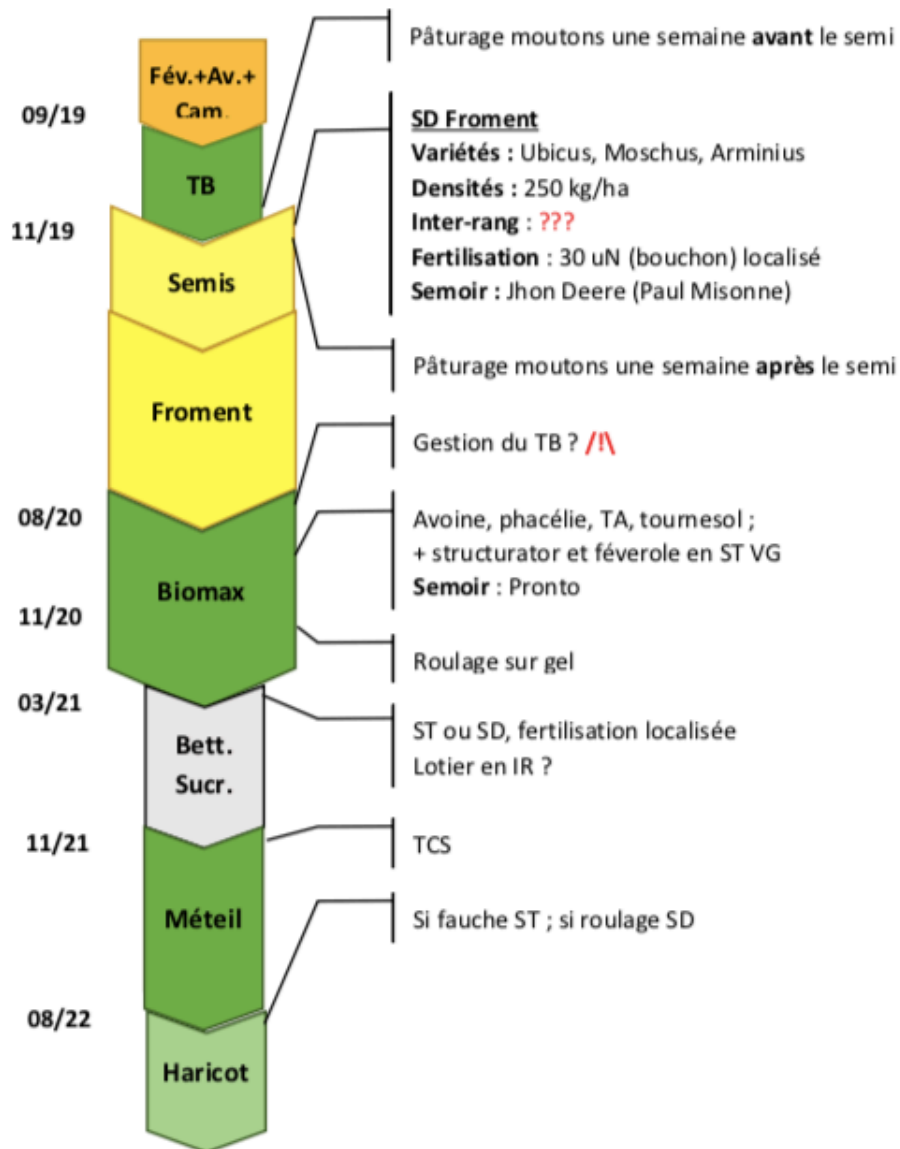


### Remarques :

Sous semis de féverole pour fertilisation et structuration. Pas de deuxième passage de ST au printemps

## Vincent Renard

Grandes cultures et cultures fourragères en Agriculture Biologique  
Herquegies (région limoneuse hennuyère)



### Remarques :

Le double passage des moutons, la sur-densité, la fertilisation localisée et l'écartement ont pour but d'essayer de favoriser un maximum le blé par rapport au couvert de TB qui a été préservé

## Annexe II : Plan de traitement de la parcelles Grendel, projet Perséphone (ValBiom)





## Enquête à l'intention des agriculteurs : pratiques culturales et qualité des sols

Étudiante en biologie à l'Université de Liège, je réalise mon mémoire sur le thème de la qualité des sols dans différents systèmes agricoles. Pour que l'agriculture reste performante et innovante, il est essentiel que les agriculteurs et les scientifiques échangent autour de leurs savoirs et expériences. Il me semble donc important d'inclure à mon travail une partie réalisée avec les premiers acteurs de terrain : les agriculteurs.

Pour cela, je sollicite une quinzaine de minutes de votre temps pour répondre à ce questionnaire qui s'intéresse à VOS pratiques et à VOTRE perception de la qualité des sols que VOUS cultivez ainsi que les pratiques que VOUS mettez en œuvre pour l'améliorer.

Il ne s'agit pas d'établir un jugement, mais d'établir un recueil sur la réalité de terrain. Il n'y a pas de « bonnes » ou de « mauvaises » réponses, il s'agit donc bien ici de donner une information sur vos pratiques et votre propre avis. Il est important de répondre à chaque question pour que le questionnaire puisse être exploité.

La période d'enquête s'étend du 13 mai 2020 au 10 juin 2020. Les résultats de cette enquête seront disponibles sur le site des mémoires de ULiège (Matéo) et sur demande.

Pour des informations complémentaires, vous pouvez contacter Marie WEISSE-LOUIS par mail à l'adresse suivante : [mweisselouis@student.uliege.be](mailto:mweisselouis@student.uliege.be)

Merci pour votre participation !

**\*Obligatoire**

### Qualité des sols

Par qualité du sol, nous entendons l'aptitude d'un sol à pourvoir au bon développement des végétaux ; c'est aussi la capacité d'un sol à exercer diverses fonctions en particulier environnementales.

- 1) Citez 3 mots clés (séparés par une virgule), qui vous viennent à l'esprit en relation avec la qualité des sols \*

---

---

---

---

---

2. 2) En général, des problèmes de qualité des sols sont liés à : \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | pas du<br>tout<br>d'accord | plutôt pas<br>d'accord | plutôt<br>d'accord    | totalelement<br>d'accord | pas d'avis<br>/ ne sait<br>pas |
|--|----------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| compaction du sol                                    | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| sol lourd (argileux)                                 | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| érosion du sol                                       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| faible porosité du sol                               | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| croûte de battance                                   | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| manque/perte de fertilité                            | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| trop peu de matière<br>organique                     | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| trop peu de vers de<br>terres                        | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| trop peu de micro<br>organismes                      | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| utilisation de TROP<br>d'insecticides/fongicides     | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| utilisation de TROP PEU<br>d'insecticides/fongicides | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| travail intensif du sol                              | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| absence de travail du sol                            | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |
| présence de pathogènes                               | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    | <input type="radio"/>          |

3. si autre :

\_\_\_\_\_

4. 3) Sur mes terres, des problèmes de qualité des sols sont liés à : \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|   | pas du tout d'accord  | plutôt pas d'accord   | plutôt d'accord       | totalemement d'accord | pas d'avis / ne sait pas |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| compaction du sol                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| sol lourd (argileux)                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| érosion du sol                                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| faible porosité du sol                            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| croûte de battance                                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| manque/perte de fertilité                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| trop peu de matière organique                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| trop peu de vers de terres                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| trop peu de micro organismes                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| utilisation de TROP d'insecticides/fongicides     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| utilisation de TROP PEU d'insecticides/fongicides | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| travail intensif du sol                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| absence de travail du sol                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |
| présence de pathogènes                            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>    |

5. si autre :

\_\_\_\_\_

6. 4) Selon vous, l'agriculture biologique : \*

Une seule réponse possible par ligne.

|   | pas du<br>tout<br>d'accord | plutôt pas<br>d'accord | plutôt<br>d'accord    | totalem<br>ent<br>d'accord | pas d'avis/<br>ne sait pas |
|---|----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Diminue l'impact des pratiques agricoles sur les sols       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente la biodiversité des sols                           | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue la productivité des parcelles                       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente le risque de dégâts par la faune (oiseaux, gibier) | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue les risques de maladies au sein des parcelles       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente le risque de ravageurs des cultures                | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue la présence d'adventices indésirables               | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |

7. 5) Selon vous, est-ce que l'agriculture de conservation, via les Techniques de Conservation des Sols : \*

Une seule réponse possible par ligne.

|   | pas du<br>tout<br>d'accord | plutôt pas<br>d'accord | plutôt<br>d'accord    | totalem<br>ent<br>d'accord | pas d'avis/<br>ne sait pas |
|---|----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Diminue l'impact des pratiques agricoles sur les sols       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente la biodiversité des sols                           | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue la productivité des parcelles                       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente le risque de dégâts par la faune (oiseaux, gibier) | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue les risques de maladies au sein des parcelles       | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Augmente le risque de ravageurs des cultures                | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |
| Diminue la présence d'adventices indésirables               | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/>      |

8. 6) Parmi les propositions suivantes, choisissez 3 critères qui caractérisent la qualité des sols et classez les par ordre d'importance (1 : le plus important) :

*Plusieurs réponses possibles.*

|  | 1                        | 2                        | 3                        |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| fertilité  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| structure du sol   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| diversité en organismes du sol                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| quantité de matière organique                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| pH   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| concentration en nutriments                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacité d'infiltration de l'eau dans le sol/porosité du sol | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Quantité de vers de terre                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacité de rétention d'eau                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Résistance à l'érosion                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

9. autre critère :

\_\_\_\_\_

10. 7) Quelles observations réalisez-vous pour vous faire une idée de la qualité du sol de votre parcelle : \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | Jamais                | Rarement (Tous les 3 ans ou plus) | Parfois (Tous les 1-2ans) | Régulièrement (Plusieurs fois par an) |
|--|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| observation visuelle de la vigueur des cultures                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| comptage des terricules de vers de terre                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| test bêche/ test fourche à palette (profil du sol)                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| dosage de matière organique  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| dosage des nitrates  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| mesures de pH  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| test combiné : K, N, C , pH  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| pénétrromètre  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |
| slake test ( test de la stabilité du sol par détérioration dans l'eau) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>             | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/>                 |

11. si autre :

\_\_\_\_\_

12. 8) Pour vous, la présence de ces organismes est-elle indicatrice de la bonne qualité du sol de vos parcelles ? \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | Pas du tout d'accord  | Plutôt pas d'accord   | Plutôt d'accord       | Entièrement d'accord  | Pas d'avis/ne sait pas |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Micro-organismes du sol : bactéries, champignons, algues | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Vers de terre  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Insectes auxiliaires de cultures                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Insectes parasites de cultures                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Rongeurs et autres petits mammifères ravageurs           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Oiseaux  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Limaces & escargots                                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

13. si autre :

\_\_\_\_\_

14. 9) Sur une échelle de 1-10, je cote le besoin de préserver la vie du sol à : \*

*Une seule réponse possible.*

| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

15. 10) Sur une échelle de 1-10, je cote le besoin de préserver la structure du sol à

*Une seule réponse possible.*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

16. 11) Sur une échelle de 1-10, je cote le besoin de préserver la matière organique du sol à : \*

*Une seule réponse possible.*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

### Pratiques culturales

17. 12) Parmi ces pratiques concernant les cultures, quelles sont celles que vous appliquez au sein de votre exploitation ? (Plusieurs réponses possibles) \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Cultures associées
- Couverts végétaux simples
- Couverts végétaux diversifiés (>3 plantes)
- Intercultures courtes (avant culture d'hiver)
- Rotation simple
- Prairie temporaire dans la rotation
- Pâturage des cultures/couverts

Autre :  \_\_\_\_\_



18. 13) Pour assurer la fertilisation de vos sols, vous utilisez (plusieurs réponses possibles) : \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Des engrais minéraux  
 Des effluents organiques produits en dehors de l'exploitation (fumier, lisier, compost)  
 Des effluents organiques produits au sein de l'exploitation (fumier, lisier, compost)

Autre :  \_\_\_\_\_

19. 14) Parmi ces produits phytopharmaceutiques, quels sont ceux que vous appliquez : \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|                          | Jamais                | Sur une minorité de parcelles | Sur une majorité de parcelles | Sur toutes les parcelles |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Fongicides de contact    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Fongicides systémiques   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Herbicides sélectifs     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Herbicides non sélectifs | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Insecticides             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |

20. 15) Parmi ces pratiques concernant le travail du sol, quelles sont celles que vous appliquez au sein de votre exploitation ? \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|                            | Jamais                | Sur une minorité de parcelles | Sur une majorité de parcelles | Sur toutes les parcelles |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Labour                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Pseudo-labour              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Décompactage               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Strip-till                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Travail superficiel du sol | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |
| Semis direct               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>         | <input type="radio"/>    |

21. 16) Quelles pratiques mettez-vous en œuvre dans le but d'améliorer la qualité de vos sols ? \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | Jamais                | Parfois               | Souvent               | Toujours              |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Travail réduit du sol                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Absence de labour                          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Labour profond                             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Semis direct                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Couverts végétaux                          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Cultures associées                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Fertilisants organiques                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Herbicides                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Insecticides                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Fongicides                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rotation de culture simple                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rotation de culture complexe               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Prairies temporaires                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pâturage des cultures et couverts végétaux | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

22. si autre :

\_\_\_\_\_

23. 17) Si un effet négatif de ces pratiques sur la qualité des sols vous était démontré, envisageriez-vous de cesser les appliquer ? \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | Oui                   | Non                   | Peut-être             |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Absence de labour                          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Labour profond                             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Semis direct                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Couverts végétaux                          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Cultures associées                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Fertilisants organiques                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Herbicides                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Insecticides                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Fongicides                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rotation de culture simple                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rotation de culture complexe               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Prairies temporaires                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pâturage des cultures et couverts végétaux | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

24. 18) Vos choix de pratiques agricoles sont principalement motivés par : \*

*Une seule réponse possible par ligne.*

|  | Pas du tout d'accord  | Plutôt pas d'accord   | Plutôt d'accord       | Totalement d'accord   | Sans avis/ne sait pas |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Possibilité de subside/<br>soutien financier | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Améliorer la qualité du sol                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Apporter suffisamment d'azote                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Réduire le compactage                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Diminuer les investissements nécessaires     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Limiter le développement de pathogènes       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Améliorer la structure du sol                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Augmenter la productivité                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Augmenter la matière organique du sol        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Limiter l'érosion                            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Redistribuer les nutriments dans le sol      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Préserver la vie du sol                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Profil de l'enquêté**

25. 19) Êtes-vous ? \*

*Une seule réponse possible.*

Un homme

Une femme

26. 20) Quel âge avez-vous ? \*

\_\_\_\_\_

27. 21) Votre exploitation se trouve : \*

*Une seule réponse possible.*

En Belgique (Wallonie)

En Belgique (Flandres)

En France

Au Luxembourg

En Suisse

Autre : \_\_\_\_\_

28. 22) Vous participez à des journées d'informations et de formations liées à l'agriculture : \*

*Une seule réponse possible.*

Jamais

Une fois par an

Plusieurs fois par an

29. 23) Vous vous considérez comme : \*

*Une seule réponse possible.*

- Un agriculteur conventionnel
- Un agriculteur qui pratique l'agriculture de conservation
- Un agriculteur BIO
- Autre : \_\_\_\_\_

30. 24) Votre exploitation est-elle labellisée en Agriculture Biologique ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Oui
- Non

31. 25) Comment avez-vous pris connaissance de l'enquête ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Facebook
- CRA
- Université de Liège
- Chambre d'agriculture
- Greenotec
- Association à laquelle vous êtes affilié (autre que Greenotec)
- Institution de recherche scientifique (autre que le CRA ou l'Université de
- Groupe Soufflet Agriculture
- Autre : \_\_\_\_\_

Remarques (optionnel)

32. 26) Avez-vous des remarques à ajouter concernant vos pratiques culturelles ?

---

---

---

---

---

33. 27) Avez-vous des remarques concernant le questionnaire ?

---

---

---

---

---

**Merci pour votre participation et votre temps !**