

Faculté des bioingénieurs

Contrainte de la certification bio en Agriculture de Conservation en Wallonie dans un contexte de changements climatiques

Auteure : Pauline Cassart

Promoteur(s) : Prof. Philippe Baret (UCL/ELI/ELIA)
Manon Ferdinand (UCL/ELI/ELIA)

Lecteur(s) : Prof. Pierre Bertin (UCL/ELI/ELIA)
Hugues Falys (UCL)

Année académique 2020-2021

**Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Bioingénieur : Sciences Agronomiques – Agronomie intégrée**

Remerciements

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide et le soutien d'une équipe.

Tout d'abord, je tiens à remercier le professeur Philippe Baret, Doyen de la faculté des Bioingénieurs de l'UCLouvain, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de diriger ce mémoire. Son soutien, sa clairvoyance et sa rigueur m'ont guidée tout au long de ce travail.

Je remercie également Manon Ferdinand, doctorante à l'UCLouvain, qui m'a éveillée à cette thématique passionnante. Sa disponibilité, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils m'ont été d'une aide particulièrement précieuse.

Je tiens à remercier Hugues Falys et le professeur Pierre Bertin d'avoir accepté d'être les lecteurs de ce mémoire.

Je pense aussi à Lola Leveau et Nicolas Biot, pour leurs recommandations dans le choix et le bon déroulement des mesures en champ.

Mes remerciements vont aussi aux agriculteurs qui ont accepté de répondre à mes questions. L'accueil qu'ils m'ont réservé, et le temps et la confiance qu'ils m'ont accordés m'ont particulièrement touchée.

Je remercie chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de mes recherches ; Alexandre Jacquemain du SMCS et Hadrien Glibert pour leur aide en statistique, Louis Beauvois pour ses explications sur les phytos et mon grand-père, Léo Cassart, pour ses connaissances pointues de terrain et son bon sens paysan.

Je remercie enfin mes amis, ma famille et particulièrement mes parents, pour leur présence, leur écoute et leurs encouragements dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que tout au long de mes études.

Résumé

Sécheresses, inondations, vagues de chaleur... le dérèglement climatique est à nos portes. Dans ce contexte, l'agriculture est face à deux défis : atténuer son impact sur les changements climatiques actuels et s'y adapter. Pour ce faire, des modes de production plus durables se développent, l'Agriculture Biologique (AB) et l'Agriculture de Conservation (AC) en font partie. Cependant, ces deux systèmes agricoles présentent des choix techniques différents : tandis que l'un bannit tout intrant de synthèse, s'appuyant notamment sur le labour, l'autre s'affranchit de ce dernier, en restant majoritairement dépendant des intrants de synthèse, et en particulier du glyphosate. Cette tension, soulevée par Braibant et Morelle (2018) et approfondie ensuite par Ferdinand et al. (2019), freine la convergence de ces deux modèles vers la construction d'une Agriculture Biologique de Conservation (ABC).

Ce mémoire s'inscrit dans l'objectif global d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'AC dans un contexte de changements climatiques, en Wallonie. Trois sous-objectifs en découlent : (i) identifier la diversité de changements dans les pratiques de l'AC, lors de l'adoption de la certification bio, (ii) mesurer l'effet de ces changements sur la structure du sol, et finalement (iii) identifier les motivations et freins à l'adoption de la certification bio en AC ainsi que la vision de l'avenir de l'exploitation des agriculteurs rencontrés. Ces objectifs ont été atteints grâce à deux portes d'entrée : d'une part, via la réalisation d'entretiens semi-dirigés auprès de six agriculteurs wallons, pratiquant l'AC sur toutes les parcelles de l'exploitation et dont certaines sont certifiées bio, d'autre part, via la réalisation d'une mesure en champ, permettant une caractérisation rapide de la structure du sol sur les parcelles concernées.

Les résultats de l'étude montrent tout d'abord une diversité de changements dans les pratiques des six agriculteurs rencontrés lors de l'adoption de la certification bio en AC. Ceux-ci sont classés en deux catégories : la première regroupe les agriculteurs cultivant des cultures exigeantes en travail du sol, entraînant une réduction de la relation à l'AC. La deuxième catégorie regroupe des agriculteurs cultivant des cultures peu exigeantes, leur permettant de maintenir une relation élevée avec l'AC. Cette dernière montre qu'une forme d'ABC est possible en Wallonie.

Ces deux grandes catégories indiquent que le choix de la culture prime sur le choix du modèle, AC ou ABC, et par conséquent sur l'utilisation ou non d'intrants de synthèse tels que le glyphosate, pour maintenir une relation élevée avec l'AC.

Finalement, les résultats montrent une corrélation négative entre intensité de travail du sol et qualité structurale du sol. Bien qu'il semblerait que, à cultures identiques, le modèle AC maintienne une meilleure structure du sol en comparaison à l'ABC, le choix des cultures permet de contrebalancer l'effet du modèle sur la structure du sol. Nos habitudes alimentaires seraient-elles la clef de la santé de nos sols ?

Table des matières

CHAPITRE 1 : ÉTAT DE L'ART	3
1 PLACE DE L'AGRICULTURE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	3
1.1 ATTENUATION	3
1.1.1 Responsabilité de l'agriculture dans les émissions de GES	3
1.1.2 Potentiels d'atténuation.....	3
1.2 ADAPTATION.....	6
1.2.1 Conséquences des changements climatiques et impacts sur le secteur agricole, le cas particulier de la Wallonie	6
1.2.2 Adaptation du secteur agricole	7
2 AGRICULTURE DE CONSERVATION	9
2.1 ORIGINES ET DEFINITIONS DE L'AC	9
2.1.1 AC, un système agricole né en réponse à des soucis environnementaux	9
2.1.2 Définition de l'AC spécifique au territoire wallon, selon Manon Ferdinand	9
2.2 REPONSES DE L'AC FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	11
2.2.1 Atténuation de l'AC face aux changements climatiques.....	11
2.2.2 Adaptation de l'AC face aux changements climatiques.....	13
3 AGRICULTURE BIOLOGIQUE DE CONSERVATION	16
3.1 AGRICULTURE BIOLOGIQUE.....	16
3.2 ABC : EMERGENCE D'UN NOUVEAU MODELE ?.....	17
3.2.1 Tension entre travail du sol et intrants de synthèse	17
3.2.2 Deux mouvements vers la construction d'une ABC.....	18
3.2.3 ABC : Quid des piliers de l'AC ?.....	19
3.3 REPONSES DE L'ABC FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	20
3.3.1 Atténuation de l'ABC.....	20
3.3.2 Adaptation de l'ABC	23
CHAPITRE 2 : OBJECTIFS DU MEMOIRE	25
CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES	26
1 LA POPULATION	26
2 PHASE DE TERRAIN.....	27
2.1 ENTRETIENS	27
2.1.1 Guide d'entretien.....	28
2.1.2 Entretien semi-dirigés.....	28
2.1.3 Sélection des parcelles	28
2.2 MESURE EN CHAMP.....	29
2.2.1 Détermination de l'indicateur à quantifier	29
2.2.2 Détermination de la mesure en champ.....	30
2.2.3 Dispositif d'échantillonnage.....	31
2.2.4 Description de la méthode USDA	31
3 TRAITEMENT DES DONNEES.....	33

3.1	ENTRETIENS	33
3.1.1	<i>Caractérisation des modèles AC / ABC.....</i>	33
3.1.2	<i>Analyse qualitative de l'entretien</i>	36
3.2	MESURE EN CHAMPS	36
3.2.1	<i>Statistiques descriptives.....</i>	36
3.2.2	<i>Modèle mixte.....</i>	36
4	SCHEMA METHODOLOGIQUE.....	38
	CHAPITRE 4 : RESULTATS.....	39
1	PRESENTATION DES PARCELLES	39
2	CARACTERISATION DES MODELES ABC ET AC.....	40
2.1	PILIER 1 – TRAVAIL MINIMUM DU SOL	40
2.1.1	<i>Résultats des variables relatives au premier pilier.....</i>	40
2.1.2	<i>Focus sur la moyenne des passages pondérés à leur action.....</i>	41
2.2	PILIER 2 – COUVERTURE PERMANENTE OU SEMI-PERMANENTE DU SOL	43
2.2.1	<i>Résultats des variables relatives au deuxième pilier.....</i>	43
2.2.2	<i>Focus sur la moyenne annuelle de couverture</i>	44
2.3	PILIER 3 – DIVERSIFICATION DES CULTURES	44
2.3.1	<i>Résultats des variables relatives au pilier 3</i>	44
2.3.2	<i>Focus sur la proportion de légumineuses.....</i>	46
2.4	PRATIQUE ADDITIONNELLE : FERTILISATION ORGANIQUE ET MINERALE.....	47
2.4.1	<i>Résultats des variables relatives à la fertilisation</i>	47
2.4.2	<i>Focus sur la fertilisation azotée.....</i>	49
3	INFLUENCE DE LA CERTIFICATION BIO SUR LA STRUCTURE DU SOL	51
3.1	RESULTATS DE LA MESURE USDA.....	51
3.2	TRAITEMENTS STATISTIQUES DES RESULTATS.....	52
4	CROISEMENT ENTRE VARIABLES ET MESURE DE TERRAIN	53
4.1	PRISE DE RECUL VIS-A-VIS DE L'EFFET NON-SIGNIFICATIF DES MODELES SUR LA STRUCTURE DU SOL.....	53
4.2	LIEN ENTRE VARIABLES ET RESULTATS D'USDA	53
5	DEUX STRATÉGIES DIFFÉRENTES D'ADOPTION DE LA CERTIFICATION BIO EN AC	56
5.1	ABC SUBSTITUTION MECANIQUE.....	56
5.2	ABC RECONCEPTION.....	57
6	VISION DE L'AVENIR DE L'EXPLOITATION DES AGRICULTEURS INTERROGES	59
6.1	ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE CERTIFIEE BIO	59
6.2	ÉVOLUTION DES PRATIQUES DE L'ABC	60
7	MOTIVATIONS ET FREINS À L'ADOPTION DE LA CERTIFICATION BIO EN AC	61
7.1	ABC : MOTIVATIONS A L'ADOPTION DE LA CERTIFICATION BIO EN AC	61
7.1.1	<i>Motivations économiques.....</i>	61
7.1.2	<i>Motivations personnelles.....</i>	62
7.1.3	<i>Motivations environnementales</i>	62
7.2	ABC : FREINS A LA CERTIFICATION BIO EN AC ET LEURS LEVIERS	62
7.2.1	<i>Freins de gestion</i>	64

7.2.2	<i>Freins économiques</i>	68
7.2.3	<i>Freins techniques</i>	69
7.2.4	<i>Freins environnementaux</i>	70
7.2.5	<i>Freins personnels</i>	70
CHAPITRE 5 : DISCUSSION		72
1	CRITIQUE DE LA METHODOLOGIE	72
1.1	L'ECHANTILLONNAGE	72
1.2	ENTRETIENS SEMI-DIRIGES	72
1.2.1	<i>Le type d'entretien</i>	73
1.2.2	<i>Le guide d'entretien</i>	73
1.2.3	<i>Le choix des variables</i>	74
1.2.4	<i>La sélection des parcelles</i>	74
1.2.5	<i>La mesure en champ</i>	74
2	L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE DE CONSERVATION EN WALLONIE	75
2.1	EST-IL POSSIBLE DE PRATIQUER L'AC EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE ?	75
2.2	EST-IL POSSIBLE DE PRATIQUER L'ABC SUR TOUTES LES CULTURES ?	76
2.3	AC OU ABC, QUEL MODÈLE POUR LIMITER LES IMPACTS SUR LA STRUCTURE DU SOL ?	77
CHAPITRE 6 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES		79
CHAPITRE 7 - ANNEXES		81
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		96

Table des figures

FIGURE 1 : ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE (HA) ET DU NOMBRE DE FERMES BIO EN WALLONIE (BIOWALLONIE, 2020)	16
FIGURE 2 : PLAN DES PLACETTES AU SEIN DES PARCELLES EXPERIMENTALES. PARCELLE_NB: PARCELLE NON CERTIFIEE BIO. PARCELLE_B : PARCELLE CERTIFIEE BIO.....	31
FIGURE 3 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DU MEMOIRE.	38
FIGURE 4 : COMPARAISON DES MOYENNES ANNUELLES DES OPERATIONS DE TRAVAIL DU SOL PONDEREES PAR LEUR ACTION SUR LE SOL SUR LES PARCELLES CERTIFIEES BIO (ABC) ET NON-CERTIFIEES (AC)	42
FIGURE 5 : COMPARAISON DE LA PROPORTION DE LEGUMINEUSES, PARMI LES CULTURES PRINCIPALES AINSI QUE LES INTERCULTURES, SUR LES PARCELLES CERTIFIEES (ABC) ET LES PARCELLES NON-CERTIFIEES (AC) DES AGRICULTEURS RENCONTRES	46
FIGURE 6 : COMPARAISON DE LA PROPORTION DE LEGUMINEUSES, PARMI LES CULTURES PRINCIPALES AINSI QUE LES INTERCULTURES, SUR LES PARCELLES CERTIFIEES (ABC) ET LES PARCELLES NON-CERTIFIEES (AC) DES AGRICULTEURS RENCONTRES	46
FIGURE 7 : DOSE MOYENNE ANNUELLE D'ENGRAIS AZOTES EN FONCTION DE LA PROPORTION DE LEGUMINEUSES PARMI LES ESPECES DES CULTURES PRINCIPALES ET INTERCULTURES.....	49
FIGURE 8 : DOSE MOYENNE ANNUELLE D'ENGRAIS AZOTES EN FONCTION DE LA PROPORTION DE LEGUMINEUSES PARMI LES ESPECES DES CULTURES PRINCIPALES.....	50
FIGURE 9 : VUE SYSTEMIQUE DES FACTEURS RELATIFS AUX CHOIX DES AGRICULTEURS, INFLUENÇANT LA STRUCTURE DU SOL.	53
FIGURE 10 : RELATION ENTRE LES RESULTATS DE USDA ET LA MOYENNE DES OPERATIONS DE TRAVAIL DU SOL PONDEREES PAR LEUR ACTION SUR LE SOL.....	54
FIGURE 11 : RELATION ENTRE LES RESULTATS USDA ET LA PROPORTION D'ESPECES A ACTION NEGATIVE SUR LE SOL DANS LA SUCCESSION CULTURALE CONSIDEREE	55
FIGURE 12 : MOYENNE ANNUELLE DE COUVERTURE EN FONCTION DE LA MOYENNE DES OPERATIONS DE TRAVAIL DU SOL PONDEREES	56
FIGURE 13 : RESULTATS DE LA MESURE USDA EN FONCTION DES PARCELLES CERTIFIEES (ABC) ET DES PARCELLES NON-CERTIFIEES (AC), ET CATEGORISATION DES SUCCESSIONS CULTURALES SELON LES CULTURES FACILES ET LES CULTURES EXIGEANTES.	78

Liste des tableaux

TABEAU 1 : CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION.....	27
TABEAU 2 : CRITERES POUR L'ATTRIBUTION DES SCORES USDA (PROSENSOLS, 2012), AMELIORES PAR NICOLAS BIOT.....	32
TABEAU 3 : CARACTERISTIQUES RELATIVES AUX SIX AGRICULTEURS ET LEURS DEUX PARCELLES RESPECTIVES (ABC : CERTIFIEES BIO, AC : NON-CERTIFIEES).....	39
TABEAU 4 : RESULTATS DES VARIABLES RELATIVES AU PILIER 1 - TRAVAIL MINIMUM DU SOL - SUR LES PARCELLES CERTIFIEES BIO (ABC) ET NON-CERTIFIEES (AC) DES SIX AGRICULTEURS RENCONTRES.....	41
TABEAU 5 : RESULTATS DES VARIABLES RELATIVES AU PILIER 2 – UNE COUVERTURE PERMANENTE OU SEMI-PERMANENTE DU SOL - SUR LES PARCELLES CERTIFIEES BIO (ABC) ET NON-CERTIFIEES (AC) DES SIX AGRICULTEURS RENCONTRES	43
TABEAU 6 : RESULTATS DES VARIABLES RELATIVES AU PILIER 3 – DIVERSIFICATION DES CULTURES - SUR LES PARCELLES CERTIFIEES BIO (ABC) ET NON-CERTIFIEES (AC) DES SIX AGRICULTEURS RENCONTRES (SP/AN IC : MOYENNE ANNUELLE D'ESPECES DANS LES INTERCULTURES, SP/AN CP : MOYENNE ANNUELLE D'ESPECES DANS LES CULTURES PRINCIPALES, % LEGUMINEUSES IC : PROPORTION DE LEGUMINEUSES DANS LES INTERCULTURES, %LEGUMINEUSES CP : PROPORTION DE LEGUMINEUSES DANS LES CULTURES PRINCIPALES, % IC : PROPORTION D'INTERCULTURES)	45
TABEAU 7 : VARIABLES RELATIVES A LA FERTILISATION AZOTEE.....	48
TABEAU 8 : VARIABLES RELATIVES A LA FERTILISATION PHOSPHATEE.....	48
TABEAU 9 : MOYENNE DES RESULTATS DE LA MESURE EN CHAMP USDA PAR PARCELLE CERTIFIEES BIO (ABC) ET NON-CERTIFIEES (AC).	51
TABEAU 10 : RESULTAT DU TEST F (PROB. > F) DU MODELE MIXTE UTILISANT LE FACTEUR FIXE (AC/ABC) POUR EXPLIQUER LES SCORES DE LA METHODE USDA.....	52
TABEAU 11 : RELATION DES SIX AGRICULTEURS A L'AC ET A L'ABC.	59
TABEAU 12 : MOTIVATIONS DES AGRICULTEURS A L'ADOPTION DE LA CERTIFICATION BIO EN AC.....	61
TABEAU 13 : FREINS ET LEVIERS, RECENSES PAR CATEGORIES, A LA CERTIFICATION BIO EN AC. LES LEVIERS ECRITS EN ITALIQUE CORRESPONDENT A CEUX CITES MAIS NON MIS EN PLACE SUR L'EXPLOITATION.	63
TABEAU 14 : REPONSES AUX PILIERS DE L'AC, A LA FERTILISATION ET EFFET SUR LA STRUCTURE DU SOL, LORS DU PASSAGE DE L'AC VERS L'ABC DE CHACUN DES AGRICULTEURS, EN FONCTION DU CHOIX DES CULTURES SUR LA PARCELLE ABC. LES CHIFFRES ENTRE PARENTHESES INDIQUENT LE NOMBRE D'AGRICULTEURS FAISANT PARTIE DE LA CATEGORIE ABC CORRESPONDANTE.	76
TABEAU 15 : CLASSIFICATION DES PARCELLES CERTIFIEES (ABC) ET NON-CERTIFIEES BIO (AC), SELON QU'ELLES COMPRENNENT UNE SUCCESSION CULTURALE AVEC AU MINIMUM UNE CULTURE EXIGEANTE (SCE) OU UNE SUCCESSION CULTURALE AVEC DES CULTURES FACILES (DE TYPE PRAIRIE OU CÉRÉALES) (SCF).....	77

Liste des abréviations

AB	Agriculture Biologique
ABC	Agriculture Biologique de Conservation
AC	Agriculture de Conservation
ACP	Analyse en Composantes Principales
COS	Carbone Organique du Sol
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
IFT	Indicateur de Fréquence de Traitement
MAC	Modèle d'Agriculture de Conservation
MO	Matière Organique
MOS	Matière Organique du Sol
PA	Pratique Additionnelle
SAU	Surface Agricole Utile
SCE	Succession Culturelle Exigeante
SCF	Succession Culturelle Facile
VESS	Visual Evaluation of Soil Structure

Introduction

La sécurité alimentaire mondiale est menacée par les changements climatiques. L'agriculture est face à un nouveau challenge : allier production suffisante, pour une population grandissante, à protection de l'environnement et augmentation de sa résilience. Le secteur agricole est donc aujourd'hui face à deux défis. D'une part, atténuer son impact sur les changements climatiques actuels en réduisant ses émissions de GES. D'autre part, diminuer sa vulnérabilité en développant des stratégies d'adaptation face à ces changements.

Pour répondre à ces défis de durabilité, différents systèmes agricoles se développent. L'Agriculture de Conservation (AC) et l'Agriculture Biologique (AB) en font partie. Ces deux modèles, malgré une volonté commune de respecter l'environnement, présentent des choix techniques différents, induisant des compromis à faire, qui rentrent parfois en conflit avec les défis cités ci-dessus.

Le mémoire de Manon Ferdinand (2019), dans la continuité du mémoire de Max Morelle et Jérôme Braibant (2018), a montré l'existence d'une tension importante entre travail du sol et herbicide. Cette tension rend plus difficile une convergence entre AB et AC, freinant la construction d'une Agriculture Biologique de Conservation (ABC). En effet, l'AC est un modèle agricole fondé sur une minimisation importante du travail du sol mais restant tout de même généralement dépendante du glyphosate. Inversement, l'AB s'affranchit de l'utilisation du glyphosate mais recourt plus souvent au labour.

A partir de cette tension sont nées deux questions majeures : l'ABC est-elle possible en Wallonie ? Quel modèle, AC ou ABC, est le plus apte à maintenir la stabilité des sols wallons ? C'est de ces questionnements qu'est né ce mémoire, avec comme objectif global d'étudier la contrainte de la certification bio en Agriculture de Conservation, en Wallonie, dans un contexte de changements climatiques.

Ce travail est divisé en quatre parties. La première (« *Etat de l'art* ») est composée de trois sections. Premièrement, les différents indicateurs d'atténuation et d'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques sont énoncés. Deuxièmement, l'AC est définie et l'effet de ses pratiques sur les différents indicateurs d'atténuation et d'adaptation sont décrits. Troisièmement, l'ABC est également définie, et l'effet de ses pratiques sur les d'indicateurs sont à leur tour décrits.

La deuxième partie (« *Objectifs du mémoire* ») définit l'objectif global et les trois sous-objectifs du mémoire.

La troisième partie (« *Matériel et méthodes* ») a pour but de retracer la démarche suivie tout au long du mémoire, passant par le choix de la population étudiée, la phase de terrain pour l'acquisition des données et le traitement de celles-ci.

La quatrième partie (« Résultats »), construite autour de sept sections, répond aux trois sous-objectifs du mémoire et étudie les corrélations entre les résultats. Ainsi, cette partie présente les parcelles des agriculteurs concernés, la caractérisation des modèles AC et ABC, l'effet de la certification bio sur la structure du sol, un croisement entre les pratiques des agriculteurs et la mesure en champ, deux stratégies d'adoption de la certification bio, la vision de l'avenir des agriculteurs rencontrés et finalement les motivations et freins de ceux-ci à l'adoption de la certification bio en AC.

La cinquième partie (« Discussion ») commence par une critique de la méthodologie, suivie ensuite par une discussion et l'interprétation des résultats, permettant finalement d'évaluer la faisabilité de l'ABC en Wallonie, ainsi que son effet sur la structure du sol.

La sixième et dernière partie (« Conclusion ») permet une synthèse de ce mémoire et ouvre de nouvelles portes à ce sujet passionnant.

Chapitre 1 : État de l'art

1 Place de l'agriculture face aux changements climatiques

Les changements climatiques constituent une menace pour la sécurité alimentaire mondiale (FAO, s. d.-b). Le challenge actuel de l'agriculture est d'allier production suffisante, pour une population toujours plus grande, à protection de l'environnement et diminution de sa vulnérabilité face aux changements climatiques (Aune, 2012).

Le secteur agricole est donc aujourd'hui face à deux défis. D'une part, atténuer son impact sur les changements climatiques actuels en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autre part, diminuer sa vulnérabilité en développant des stratégies d'adaptation face à ces changements. Dans la suite de cette section, nous développons ces deux concepts (atténuation et adaptation). Nous n'aborderons dans ce mémoire que les impacts des composantes agronomiques sur les changements climatiques, en limitant ainsi notre analyse aux pratiques culturales des agriculteurs, à l'échelle de la parcelle agricole.

1.1 Atténuation

1.1.1 Responsabilité de l'agriculture dans les émissions de GES

Tout d'abord, le secteur agricole a sa part de responsabilité dans les changements climatiques actuels. L'agriculture représente 9% des émissions européennes de GES (Vandaele et al., 2010). Ces émissions se présentent sous la forme de dioxyde de carbone (CO_2), protoxyde d'azote (N_2O) et méthane (CH_4) (Aune, 2012). Ces derniers sont simultanément émis et absorbés vers et dans l'atmosphère, en fonction de facteurs naturels et humains (IPCC, land-climate interactions). En effet, les sols agricoles peuvent à la fois agir en tant que source et puits de GES (Aune, 2012).

1.1.2 Potentiels d'atténuation

L'agriculture a un rôle à jouer dans l'atténuation des changements climatiques à l'aide de trois leviers : en réduisant les émissions de N_2O , CO_2 et CH_4 , en stockant plus de carbone dans les sols et en produisant de la bioénergie pour remplacer les énergies fossiles (Pellerin et al., 2017).

Dans les sous-points suivants, chacun de ces trois GES et leurs impacts en agriculture vont être abordés, de même que la notion de séquestration de carbone dans les sols agricoles. Dans les sections deux et trois, il sera question des potentiels d'atténuation de l'AC et de l'ABC vis-à-vis de ces sous-points, permettant ainsi une comparaison de ces systèmes.

1.1.2.1 Protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote (N_2O), avec un potentiel de réchauffement global en équivalent de CO_2 de 298 (IPCC, 2006), est le principal GES issu de l'agriculture en Europe (50% des émissions) (Vandaele et al., 2010). Il provient principalement de la fertilisation azotée et des déjections animales. Les émissions de N_2O par les sols agricoles peuvent être directes, suite à l'apport d'azote sur les terres, ou indirectes, dues aux processus de transformation des produits azotés via les micro-organismes du sol, la volatilisation de l'ammoniac et le lessivage des nitrates (Vandaele et al., 2010). Le protoxyde d'azote est formé principalement par la nitrification (conversion de l'ammonium en nitrate, via le nitrite) et la dénitrification (conversion du nitrate, en N_2 gazeux), en étant respectivement un sous-produit et un intermédiaire (Smith et al., 2007).

Selon Pellerin et al. (2017), 28% du potentiel total de réduction des émissions de ce gaz sont liés à la gestion de l'azote. Nous développerons dans les chapitres suivants les pratiques associées à l'AC et l'ABC pour tendre vers cet objectif.

1.1.2.2 Méthane

Le méthane (CH_4) a un potentiel de réchauffement global en équivalent de CO_2 de 25 (IPCC, 2006) et représente 37% des émissions de GES issus de l'agriculture en Europe (Vandaele et al., 2010). Il est formé lors de fermentations en conditions anaérobies, principalement de la fermentation entérique des bovins et de la gestion des déjections animales, ainsi que lors de fermentation anaérobie de la MO, en particulier dans des sols saturés fossiles (Pellerin et al., 2017).

Bien que le méthane ait une contribution importante dans les émissions de GES issus du secteur agricole, la majorité des potentiels d'atténuation liés à ce GES est associée à l'élevage (Pellerin et al., 2017). Étant donné que notre analyse porte uniquement sur l'impact direct des pratiques culturales sur les changements climatiques, nous n'analyserons pas cette composante d'atténuation dans le cadre de ce mémoire.

1.1.2.3 Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO_2), bien qu'ayant un potentiel de réchauffement global de 1 (IPCC, 2006) et donc bien moindre que les deux premiers GES vus ci-dessus, représente tout de même 13% des GES issus de l'agriculture en Europe (Vandaele et al., 2010). Ses principales sources d'émission pour le secteur agricole concernent l'utilisation d'énergie par les engins agricoles (carburant), l'utilisation des bâtiments agricoles (chauffage) ainsi que lors de la fabrication d'intrants (engrais, fertilisants, produits phytosanitaires...) (Vandaele et al., 2010). De plus, l'activité biologique du sol, dans certaines conditions, peut impacter la décomposition de la matière organique accompagnée d'une libération de CO_2 vers l'atmosphère.

1.1.2.4 Séquestration de carbone

Les sols de la planète contiennent environ 1500 Gt de carbone organique, c'est-à-dire à peu près le double de l'atmosphère. Cependant, majoritairement à cause de la conversion des terres en cultures, beaucoup de sols ont perdu une part non négligeable de leur carbone, et le labour a souvent été pointé du doigt (Baker et al., 2007).

Tout d'abord, comme le rappellent Chenu et al. (2019), il est important de distinguer séquestration et stockage de carbone. La séquestration de carbone est « *le processus de transfert du CO₂ de l'atmosphère vers le sol d'une unité terrestre, par l'intermédiaire des plantes, des résidus végétaux et d'autres solides organiques qui sont stockés ou retenus dans l'unité en tant que partie de la matière organique du sol (humus).* » (Chenu et al., 2019). Par contre, le stockage de carbone est une notion plus large, faisant référence à une augmentation des stocks de carbone organique du sol au fil du temps dans une unité de sol donnée, et ce processus n'est donc pas nécessairement associé à un retrait net de CO₂ de l'atmosphère (Chenu et al., 2019). De cette façon, une augmentation de la photosynthèse nette ou une diminution du taux de dégradation du COS, causées par certaines pratiques agricoles, permettent une séquestration de carbone et constituent ainsi un outil d'atténuation des changements climatiques. Cependant, le simple déplacement de carbone d'un pool à un autre de la biosphère, tel qu'une application de fumier, est plutôt associé à un processus de stockage à une échelle locale (Powlson et al., 2011).

Cependant, comme le rappellent Powlson et al. (2011), cette stratégie d'atténuation des changements climatiques via une séquestration de carbone est parfois surestimée. Tout d'abord, il existe des confusions autour des pratiques qui induisent une véritable séquestration de carbone, comme expliqué ci-dessus. Ensuite, l'accumulation de carbone n'est pas infinie, elle tend vers un équilibre, et ces limites ne sont pas toujours prises en considération. Enfin, ces pratiques favorables au COS sont souvent associées à une modification des émissions de N₂O, dont l'impact négatif est parfois négligé ou sous-estimé (Powlson et al., 2011).

Néanmoins, bien qu'une séquestration de carbone soit préférable en termes d'atténuation des GES, un stockage à plus court terme est également bénéfique en permettant une amélioration de la qualité biologique et physique des sols, essentielle pour l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques (Chenu et al., 2019).

Par ailleurs, il est important de rappeler que le processus de séquestration et de stockage de manière plus globale est fortement dépendant du climat et du sol. En effet, les stocks de COS ont tendance à être plus élevés aux hautes latitudes (en raison des températures faibles) ainsi que dans les tropiques (en raison de précipitations fortes et d'une production primaire élevée), et à diminuer aux latitudes moyennes (Minasny et al., 2017).

En Belgique, les teneurs en carbone organique des sols agricoles sont estimées à 108 Mt entre 0 et 0,3 m de profondeur et à 164 Mt jusqu'à une profondeur de 1 m. Ces teneurs augmentent du Nord-Ouest au Sud-Est, de par l'augmentation de l'altitude, associée à une diminution des températures et une augmentation des précipitations (Minasny et al., 2017). Une plus grande proportion de prairies et forêts dans les Ardennes, au Sud-Est du pays, influence favorablement ce stock de COS. Entre 1960 et 2005, les terres cultivées en Wallonie ont perdu du COS à un taux de $0,06 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Minasny et al., 2017). Selon le National Inventory Report (2016), ces stocks de COS ont augmenté à nouveau entre 2005 et 2013, probablement grâce à l'introduction d'intercultures d'hiver (Minasny et al., 2017). Cependant, en raison d'une surface totale disponible pour les cultures réduites, le potentiel de séquestration de carbone en Belgique est principalement limité à la ceinture limoneuse, dont les sols agricoles atteignent des taux relativement faibles de COS. En effet, dans cette région, des taux de moins de 1% de carbone ont été atteints en terres cultivées (Minasny et al., 2017).

1.2 Adaptation

Un autre défi de l'agriculture actuelle est de diminuer sa vulnérabilité face aux changements climatiques en développant des capacités d'adaptation adéquates. Cette section abordera les conséquences des changements climatiques pour ensuite analyser les éléments importants à prendre en compte en agriculture afin de développer des stratégies d'adaptation.

1.2.1 Conséquences des changements climatiques et impacts sur le secteur agricole, le cas particulier de la Wallonie

Les conséquences des changements climatiques sont multiples et leurs impacts sur le secteur agricole sont très variables, selon les régions, types de cultures etc.

Tout d'abord, selon le rapport du GIEC de 2019, les températures moyennes mondiales de la surface des terres et océans montrent un réchauffement de $0,87^{\circ}\text{C}$ de la période préindustrielle (1850-1900) à 2006-2015, et principalement depuis 1950 (IPCC, 2019).

Les impacts de cette augmentation des températures peuvent varier en fonction de divers facteurs, tels que la région et le type de cultures. Aux latitudes moyennes, comme en Wallonie, ce réchauffement global devrait augmenter la durée de la saison de croissance, avec un avancement des semis de printemps, avec comme conséquence une augmentation de la croissance et de la productivité et donc des rendements de cultures plus élevés (IPCC, 2019). De plus, ces conditions climatiques plus chaudes devraient augmenter les terres arables, en particulier au-delà de leurs limites nord actuelles (Pisante et al., 2015). Ensuite, à l'échelle mondiale, plusieurs changements sont observés dans la fréquence et l'intensité des extrêmes de température quotidiens depuis le milieu du 20^e siècle (Pisante et al., 2015).

Les changements climatiques sont également observés par une augmentation d'environ 2% de la moyenne globale des précipitations entre 1900 et 1998 (Pisante et al., 2015). A l'échelle

de la Belgique également, on observe une augmentation lente mais significative des précipitations et les prévisions font état d'une hausse de celles-ci en hiver et d'une baisse en été (*Climat.be*, s. d.).

Ces modifications vont de pair avec des événements climatiques extrêmes tels que pluies plus intenses en hiver, orages plus violents en été, canicules plus fréquentes, y compris pour la Belgique (*Climat.be*, s. d.), ce qui accentue les risques réels d'inondation et de sécheresse.

Enfin, une concentration atmosphérique en CO₂ plus élevée devrait permettre d'augmenter la productivité des cultures grâce à un taux de photosynthèse plus élevé, en particulier pour les plantes en C3 (Pisante et al., 2015).

1.2.2 Adaptation du secteur agricole

Le secteur agricole est directement impacté par ces changements climatiques et devra s'adapter dans le but de maintenir une production agricole suffisante. Au vu des conséquences des changements climatiques abordées ci-dessus, la dégradation des sols et la pénurie d'eau constituent deux enjeux actuels majeurs pour l'agriculture et la sécurité alimentaire (FAO, 2019).

C'est pourquoi les stratégies d'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques sont classées en deux catégories d'action dans le cadre de ce mémoire : la conservation des sols et la conservation de l'eau.

Cette section abordera les concepts de conservation des sols et de l'eau plus en détail. Dans les chapitres deux et trois, nous étudierons comment les pratiques de l'AC et de l'ABC influencent ces indicateurs, toujours dans notre contexte wallon.

1.2.2.1 Conservation des sols

Cette première stratégie d'adaptation, la conservation des sols, comporte deux volets : (i) agir sur la qualité biologique des sols et (ii) agir sur leur qualité physique. Nous verrons par la suite que ces deux volets sont intimement liés.

i. Qualité biologique des sols

Tout d'abord, agir contre la dégradation biologique des sols comprend deux enjeux : le maintien de la fertilité et le maintien de la biodiversité des sols (Agnan, 2020a).

Premièrement, la fertilité du sol correspond à sa teneur en matière organique (MO) et nutriments (Agnan, 2020a). La matière organique du sol (MOS) est souvent considérée comme la clef de voûte de l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. Selon Aune et al. (2012), la MOS rend le sol moins vulnérable aux sécheresses, vagues de chaleur et inondations. Elle donne aux agroécosystèmes la capacité de s'adapter à un climat changeant avec des précipitations moins fréquentes et moins régulières et des pluies plus extrêmes (Chenu et al., 2019). Par ailleurs, Corsi et la FAO (2012) évoquent son rôle crucial pour

maintenir la santé des sols et leur potentiel de productivité. Selon la FAO, la MOS correspond aux constituants organiques du sol : les tissus de plantes et d'animaux morts, les matériaux de moins de 2 mm et les organismes du sol à différents stades de décomposition (Corsi & FAO, 2012). La MOS a un impact direct sur la biodiversité du sol, sur sa qualité physique ainsi que sur son humidité (Peigné et al., 2007), et influence ainsi l'ensemble des stratégies d'adaptation considérées dans ce mémoire.

Deuxièmement, la biodiversité du sol a également un rôle majeur dans ces stratégies d'adaptation. En agissant sur la MO, les organismes du sol remplissent une série de fonctions diverses et encore peu connues (FAO, s. d.-c) : ils décomposent et transforment la MO ; ils rendent une partie des nutriments disponibles pour les plantes ; ils retiennent une partie des nutriments dans leurs cellules et les libèrent ensuite lentement empêchant ainsi leur perte par lessivage ; ils fournissent des molécules organiques agissant positivement sur le processus de formation des sols et le maintien de leur structure ; ils agissent également sur la structure via l'activité d'enfouissement des méso-organismes tels que les vers de terre... (FAO, s. d.; Kassam et al., 2019).

ii. Qualité physique des sols

La qualité physique des sols est également un facteur important dans la conservation des sols, et est fortement influencée par la qualité biologique développée ci-dessus. Selon la FAO, cette qualité physique des sols peut être observée à travers trois indicateurs : l'absence d'imperméabilisation et d'encroûtement, l'absence d'érosion hydrique et éolienne et l'absence de compactage (FAO, s. d.-d).

Les propriétés physiques des sols (texture, structure, porosité/densité et température) influencent ces trois indicateurs de qualité (Agnan, 2020b). Jouer sur ces propriétés physiques du sol constitue donc la seconde stratégie de conservation des sols.

1.2.2.2 Conservation de l'eau

La deuxième stratégie d'adaptation abordée dans ce mémoire concerne la conservation de l'eau. En effet, au vu des conséquences des changements climatiques énoncées au point précédent, il semble évident que l'humidité du sol est un élément central pour l'adaptation de l'agriculture face à ces changements. Une meilleure conservation de l'eau augmente la résilience aux sécheresses, réduit le risque d'inondations ainsi que les besoins d'irrigation (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010).

Ainsi, l'humidité du sol, étroitement liée à sa qualité physique et biologique abordée ci-dessus, peut être améliorée par différentes pratiques agricoles en jouant sur l'infiltration, le ruissellement, la capacité de rétention de l'eau et l'évaporation.

2 Agriculture de Conservation

2.1 Origines et définitions de l'AC

2.1.1 AC, un système agricole né en réponse à des soucis environnementaux

Les premières formes d'AC sont apparues aux États-Unis dans les années 1930, en réponse à une dégradation importante des sols de grandes cultures. Ce nouveau modèle d'agriculture est né suite à des problèmes d'érosion causés par un travail intensif des sols associé à une couverture du sol faible (Braibant & Morelle, 2018). Les premières formes d'AC ont émergé chez quelques agriculteurs belges dès le début des années 1980 (Vankeerberghen & Stassart, 2016).

Pour contextualiser l'émergence de ce nouveau modèle, Vankeerberghen & Stassart (2016) ont identifié quatre phases dans la transition vers l'AC. Cette transition est considérée comme dynamique, se développant de l'intérieur et se détachant progressivement du régime agricole conventionnel. La première étape est la suppression du labour, menant à une déstabilisation de ce régime conventionnel. La seconde étape, considérée par Vankeerberghen & Stassart (2016) comme point de basculement, est la transformation de la perception du sol : d'un substrat à un sol vivant. Ensuite, de nouvelles reconfigurations ont lieu, telles que des changements dans les principes de fertilisation, une prise de conscience des divers intérêts des cultures de couvertures, une utilisation plus raisonnée d'intrants et une remise en question du régime agricole conventionnel (Vankeerberghen & Stassart, 2016).

L'AC se développe progressivement en Wallonie. Selon l'Asbl Greenotec, en 2016, entre 15 et 20% de la surface des cultures de blé d'hiver en Région wallonne se cultivaient avec un travail de sol réduit, et moins de 10% pour les autres cultures (Vankeerberghen & Stassart, 2016). Cependant, l'adoption de l'AC en Wallonie est géographiquement hétérogène. Actuellement, cette adoption se situe principalement dans les grandes cultures, au Nord du sillon Sambre-et-Meuse. À l'inverse, il existe encore très peu d'agriculteurs pratiquant l'AC au sud du sillon, particulièrement dans les régions agricoles où la proportion de prairies permanentes est élevée (Ardenne, Jurassique, Herbagère et haute Ardenne) (Manon Ferdinand, com. pers.).

2.1.2 Définition de l'AC spécifique au territoire wallon, selon Manon Ferdinand

Dans le cadre de sa thèse de doctorat sur l'AC et les changements climatiques, Manon Ferdinand s'est vue confrontée à différentes définitions de l'AC. Sur base d'une revue de la littérature, elle a proposé une nouvelle définition consolidée de l'AC (M. S. Ferdinand & Baret, 2021). Celle-ci caractérise l'AC via trois piliers et huit pratiques additionnelles. Manon Ferdinand a ensuite adapté cette définition au contexte wallon sur base d'études antérieures belges ou wallonnes. Étant donné que la présente étude est spécifique au territoire wallon, c'est cette dernière définition qui est utilisée dans la suite de ce mémoire et expliquée ci-dessous.

Pour distinguer piliers et pratiques additionnelles, Manon Ferdinand s'est basée sur la définition de « pilier » de Sommer et al. (2014): les piliers sont des pratiques permettant de distinguer l'AC des autres systèmes agraires, tandis que les pratiques additionnelles, permettent d'augmenter la productivité et la durabilité d'un « Modèle d'Agriculture de Conservation¹ » (MAC) et/ou d'en faciliter l'adoption (M. S. Ferdinand & Baret, 2021).

2.1.2.1 *Trois piliers*

L'AC est tout d'abord caractérisée par trois piliers, permettant de se distinguer des autres systèmes agraires : (i) un travail du sol minimum, (ii) une couverture semi-permanente ou permanente du sol et (iii) une diversification des cultures. Chacun de ces piliers est caractérisé par des indicateurs, eux-mêmes définis via la revue de littérature de Manon Ferdinand (M. S. Ferdinand & Baret, 2021).

Le premier pilier, un travail du sol minimum, est caractérisé par trois indicateurs. Premièrement, la profondeur de perturbation du sol et le pourcentage de superficie de travail sont limités. L'idéal pour une minimisation du travail du sol est le semis direct, technique sans remuement de la terre, excepté un faible volume là où la graine est déposée (Braibant & Morelle, 2018). A noter que le semis direct est actuellement peu développé en Wallonie. Deuxièmement, le passage des engins agricoles est limité, ceci dans l'objectif de réduire la compaction du sol. Troisièmement, l'action sur le sol doit également être limitée.

Toujours selon la définition spécifique à la Wallonie de Manon Ferdinand, le second pilier, une couverture semi-permanente ou permanente du sol, reste très flexible quand il est appliqué à une échelle wallonne. Et ce à cause de la faible utilisation du semis direct sur ce territoire. Trois indicateurs peuvent caractériser ce deuxième pilier. Tout d'abord, cette couverture peut s'obtenir par des résidus de culture, du fumier ou des cultures vivantes. Un couvert développé et permanent est l'idéal. De plus, une attention particulière doit être portée à la période de mai à septembre, lors de laquelle l'érosivité des pluies est la plus importante. Finalement, une prise en considération de la durée d'implantation des couverts ainsi que de l'aménagement de la rotation pour ceux-ci constituent le dernier indicateur pour ce deuxième pilier.

Le troisième pilier, une diversification des cultures, veut promouvoir un nombre élevé de cultures différentes, et peut se mettre en place via un allongement et une alternance réfléchie des espèces dans les rotations, via des associations, des intercultures et/ou par des mélanges variétaux.

¹ Dans le cadre de sa thèse, Manon Ferdinand étudie la diversité des formes prises par l'AC, et met ainsi en évidence différents « Modèles d'Agriculture de Conservation » (MAC).

2.1.2.2 Huit pratiques additionnelles

Dans sa définition générale de l'AC, Manon Ferdinand a recensé un total de huit pratiques additionnelles, qui augmentent la durabilité des MAC et qui en facilitent l'adoption. Ces huit pratiques additionnelles adaptées au contexte wallon sont citées ci-après : (i) l'utilisation de produits phytosanitaires, (ii) l'utilisation de fertilisants de synthèse et organiques, (iii) un besoin de connaissances, d'expériences, d'outils adéquats et d'autonomie (iv) l'intégration de l'élevage et du pâturage, (v) l'implantation de mesures de lutte antiérosive, (vi) l'implantation de mesures de lutte contre le compactage des sols, (vii) l'utilisation de semences de qualité, (viii) l'intégration de l'agroforesterie (Ferdinand & Baret, 2021 ; Manon Ferdinand, com. pers.).

2.2 Réponses de l'AC face aux changements climatiques

Ce deuxième chapitre présente les réponses de l'AC en termes d'atténuation et d'adaptation face aux changements climatiques, tels que décrits dans la section précédente.

2.2.1 Atténuation de l'AC face aux changements climatiques

Le passage d'une agriculture conventionnelle vers une agriculture de conservation, si elle est associée à une utilisation efficiente de l'azote, permet une réduction des émissions des principaux GES (Corsi & FAO, 2012). Dans la suite de cette section, nous regarderons en quoi l'AC a cette capacité d'atténuation, en analysant l'influence de ses pratiques sur les émissions de N_2O et CO_2 et sur la séquestration de carbone dans le sol.

2.2.1.1 N_2O

En termes d'atténuation par le protoxyde d'azote, les pratiques de l'AC ont des effets mitigés et variables dans le temps et l'espace selon différents paramètres, notamment les propriétés du sol et le climat.

Certains arguments sont favorables à une réduction d'émissions de N_2O en AC. Tout d'abord, comme nous le verrons dans la section suivante concernant l'adaptation, l'AC permet un meilleur drainage et une meilleure aération des sols. Ceci encourage une diminution des zones anaérobies, favorables aux processus de dénitrification (Kassam et al., 2009). De plus, l'AC permet généralement une réduction du besoin en azote minéral, entre autres responsable de la formation de N_2O . L'AC permet également une meilleure productivité de l'utilisation de l'azote, une réduction de son lessivage et de son ruissellement, ce qui diminue donc les émissions (Kassam et al., 2009). Enfin, les résidus de culture, en réduisant la température du sol, ont également un impact favorable sur la baisse des émissions de protoxyde d'azote (Pisante et al., 2015).

Cependant, l'AC traîne généralement une mauvaise réputation en termes d'émissions de N_2O . Certaines études soutiennent qu'une réduction du travail du sol provoque de plus grandes émissions de N_2O (Pellerin et al., 2017). En effet, par ses pratiques, l'AC favorise, selon

certaines, des conditions de sol anaérobies (Mäder & Berner, 2012), favorables aux processus de dénitrification. Par exemple, une diminution de l'évaporation par la présence de résidus contribue à ce développement de conditions anaérobies (Pisante et al., 2015). Et selon Peigné et al. (2007), on observerait une augmentation de la compaction en début de transition impliquant également une augmentation des émissions.

Le facteur temps serait la première source de telles divergences. En effet, Pisante et al. (2015) soutiennent que les émissions de N₂O augmentent durant les dix premières années de conversion vers le non-labour mais diminuent lors des dix années suivantes. Ceci est dû entre autres à la formation progressive de la macroporosité définitive du sol, induite par l'AC.

La seconde source de telles divergences est la grande variabilité spatiale. En effet, dans les régions ayant un sol bien drainé et des pluies relativement faibles, les émissions de N₂O ont tendance à être égales ou à diminuer lors d'une réduction du travail du sol. Cependant, dans les environnements plus humides, tels qu'en Wallonie, les émissions ont tendance à augmenter avec une réduction du travail du sol (Powlson et al., 2011).

2.2.1.2 CO₂

Quand il s'agit du CO₂, les effets des pratiques de l'AC montrent moins de divergences.

Tout d'abord, grâce à son 1^{er} pilier, une réduction du travail du sol, l'AC contribue à diminuer les émissions de GES en réduisant la vitesse d'oxydation de la MO en CO₂ (Pisante et al., 2015).

De plus, de ce 1^{er} pilier il en résulte également une réduction des besoins en énergie. En effet, une réduction du travail du sol par une réduction de l'intensité de travail et du nombre de passages des engins permet une réduction de la consommation de carburant, ainsi que du taux d'amortissement du matériel agricole, ce qui se traduit par une réduction des émissions de CO₂ (Corsi & FAO, 2012).

Finalement, une préservation de la qualité des sols (cf. page 14) permet de maintenir les rendements avec une plus petite quantité d'engrais minéraux, ce qui permet en parallèle une diminution des émissions de GES (Powlson et al., 2011). En effet, selon la FAO, la synthèse chimique d'engrais azotés représente une part considérable des émissions directes en agriculture : 10% à l'échelle mondiale (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010).

2.2.1.3 Séquestration de carbone

Les trois piliers de l'AC peuvent jouer sur une accumulation de COS et potentiellement sur sa séquestration.

Dans la littérature, le processus de séquestration de C dans le sol est tout d'abord souvent lié au **1^{er} pilier** : un travail du sol minimum. En effet, de nombreux articles témoignent d'une augmentation significative des stocks de carbone dans la couche arable grâce à des pratiques de travail réduit du sol, souvent en combinaison avec une rétention des résidus de culture

(Minasny et al., 2017). Le labour est régulièrement accusé d'augmenter la minéralisation du COS, de briser les agrégats du sol et ainsi de libérer du CO₂ dans l'atmosphère (Chenu et al., 2019).

Cependant, de tels bénéfices d'un travail du sol réduit en termes de stockage de carbone sont aujourd'hui remis en question. D'une part, il a été observé que les stocks de COS n'augmentent pas nécessairement avec un travail du sol réduit quand on prend en considération une plus grande profondeur de sol (>40 cm) (Minasny et al., 2017). D'autre part, certaines études insistent sur l'importance de la prise en compte de l'échelle de temps considérée concernant ce 1^{er} pilier. En effet, l'accumulation de COS est un processus réversible et toute perturbation à court terme risque de casser cette amélioration dans l'accumulation (Corsi & FAO, 2012).

Ensuite, le **2^e pilier** de l'AC est globalement favorable à une séquestration de carbone. Tout d'abord, l'implantation de cultures non-récoltées permet une augmentation de la photosynthèse nette et ainsi une augmentation du COS et de sa séquestration (Powlson et al., 2011). De plus, la rétention des résidus de culture permet également une séquestration de carbone. D'une part, la réduction de la température du sol qu'elle engendre ralentit les processus de dégradation de la MO, et donc augmente la séquestration du carbone (Aune, 2012). D'autre part, ces résidus constituent une source de carbone, leur rétention permet donc également une augmentation du COS. Cela s'apparente à une séquestration si, par exemple, au départ, les résidus étaient censés être brûlés sur le champ mais qu'ils sont finalement laissés sur le champ ou enfouis dans le sol (Powlson et al., 2011).

Ensuite, augmenter la diversité des plantes (**3^e pilier**) et des organismes du sol provoque globalement une augmentation des stocks de COS, ainsi qu'une plus grande stabilité de ceux-ci (Chenu et al., 2019). Cependant, le rôle des vers de terre dans le processus de stockage de carbone est controversé. En fait, ils auraient deux effets opposés sur les stocks de COS, à différentes échelles de temps : d'une part, ils augmentent la minéralisation de la MOS fraîche et ancienne, par fragmentation, respiration et stimulation des microorganismes du sol, mais, d'autre part, ils incorporent les résidus frais dans des agrégats et enfouissent le carbone en profondeur, augmentant ainsi leur stabilisation (Chenu et al., 2019).

2.2.2 Adaptation de l'AC face aux changements climatiques

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que l'agriculture, en plus d'être un contributeur direct aux changements climatiques, en est également une cible, par sa dépendance au climat. Dès lors, il convient de trouver comment les pratiques de l'AC permettraient, ou non, de s'adapter à ces changements. Dans cette section, les piliers de l'AC et leurs effets sur la conservation du sol et de l'eau sont passés en revue.

2.2.2.1 Conservation des sols

i. Qualité biologique

L'AC encourage le maintien de la fertilité, via ses différents piliers. Tout d'abord, grâce à une couverture végétale permanente ou semi-permanente, elle permet une augmentation de la MO en surface du sol (Peigné et al., 2007). Les transformations biologiques de cette MO permettent la libération d'éléments nutritifs, complétée par des engrais minéraux si nécessaire. Ainsi, via une augmentation de MO, la disponibilité et la durée de libération de ces éléments nutritifs sont améliorées en AC (Kassam et al., 2009). Ensuite, l'ensemble des trois piliers de l'AC encouragent le recyclage des nutriments, et augmentent et maintiennent les niveaux d'azote dans la zone racinaire (Kassam et al., 2009).

Cette augmentation de la MO en surface en AC est également favorable à l'activité microbienne (Peigné et al., 2007), qui utilise la MO comme substrat. De plus, en réduisant le travail du sol, l'AC préserve et favorise la biodiversité de celui-ci (Sommer et al., 2014). Les vers de terre, particulièrement impactés par le labour, sont des grands bénéficiaires de cette réduction de travail du sol. En effet, leur nombre et activité augmentent car, d'une part, leurs habitats sont moins perturbés et, d'autre part, ils sont moins exposés à la prédation et à la dessiccation, en comparaison à des techniques avec labour (Peigné et al., 2007). Finalement, la biodiversité du sol est encouragée par le 3^e pilier de l'AC, une diversification des cultures, étant donné que chaque culture attire différents spectres de micro-organismes qui se chevauchent (Kassam et al., 2009).

ii. Qualité physique

En lien avec la qualité biologique développée ci-dessus, l'AC joue également un rôle positif sur la qualité physique des sols.

Tout d'abord, l'AC permet de limiter les pertes de sol via **l'érosion hydrique et éolienne** grâce à ses deux premiers piliers. En effet, une couverture végétale permanente et un travail du sol minimum (en particulier le semis direct) sont favorables à une meilleure stabilité des agrégats. La couverture végétale permet également une diminution du ruissellement, agissant positivement contre une érosion hydrique (Chabert & Sarthou, 2020).

Ensuite, cette couverture végétale protège le sol de la formation de « **croûte** » en surface (Peigné et al., 2007), via notamment une protection face aux gouttes de pluies à haute énergie (Kassam et al., 2009).

Concernant la **compaction** du sol, les piliers de l'AC ont des effets mitigés. D'une part, la compaction est diminuée grâce à une amélioration de la porosité du sol, affectée par la plus grande abondance d'organismes du sol (Peigné et al., 2007), et une plus grande abondance de racines. Cette diminution de la compaction en AC est aussi influencée par la protection de la couverture végétale face aux fortes pluies, ainsi que par la diminution du passage des machines agricoles (Kassam et al., 2009). Cependant, certaines études parlent d'une

compaction du sol plus forte avec un travail du sol minimum, en particulier dans les premières années de conversion (Chabert & Sarthou, 2020).

2.2.2.2 *Conservation de l'eau*

En AC, divers facteurs influencent positivement le taux **d'infiltration** de l'eau. Tout d'abord, l'amélioration de la porosité du sol permet à une plus grande partie des précipitations de pénétrer dans le sol (Kassam et al., 2009). Ensuite, la conductivité des macropores est améliorée et on y trouve une plus grande continuité entre les différentes couches de sol (Chabert & Sarthou, 2020). De plus, la protection de la couverture du sol face à la formation d'une « croûte » en surface permet d'augmenter cette infiltration (Kassam et al., 2009). Cependant, selon certains auteurs, tels que Chabert et Sarthou (2020), la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est plus faible avec un travail du sol réduit (Chabert & Sarthou, 2020).

Par ailleurs, la couverture végétale permanente ainsi qu'un travail du sol minimum permettent une diminution du **ruissellement**, via notamment une meilleure infiltration de l'eau (Kassam et al., 2009).

De plus, l'AC permet une meilleure **rétenction de l'eau** (Peigné et al., 2007). En effet, une meilleure répartition des espaces interstitiels de taille optimale permet à une plus grande partie de l'eau reçue d'être maintenue et disponible pour les plantes (Kassam et al., 2009).

Finalement, on observe une diminution de perte d'humidité par **évapotranspiration** de surface grâce à la couverture végétale permanente. On observe également une diminution d'évaporation des couches supérieures de sol grâce à cette couverture végétale ainsi qu'au travail du sol minimum (Kassam et al., 2009).

3 Agriculture Biologique de Conservation

3.1 Agriculture Biologique

En opposition à l'AC, qui se détache progressivement du régime agricole conventionnel, l'AB est un modèle né en périphérie de celui-ci (Vankeerberghen & Stassart, 2016). En effet, l'AB s'est développée sur base d'une idéologie en contradiction avec le développement de l'utilisation des produits issus de la chimie de synthèse (engrais et produits phytosanitaires) et la disparition de l'agriculture paysanne (Morelle, 2020).

Selon l'Union européenne, dans le règlement (UE) 2018/848, l'AB est définie de la manière suivante : « *La production biologique est un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques en matière d'environnement et d'action pour le climat, un degré élevé de biodiversité, la préservation des ressources naturelles et l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et des normes de production élevées répondant à la demande exprimée par un nombre croissant de consommateurs désireux de se procurer des produits obtenus grâce à des substances et à des procédés naturels.* » (EUR-Lex - 32018R0848 - EN - EUR-Lex, s. d.)

En pratique, l'AB interdit les molécules issues de la chimie de synthèse et les OGM. Ce modèle s'appuie sur le recyclage des matières organiques, la préservation de la fertilité biologique du sol, des techniques de culture peu exigeantes en intrants et la lutte biologique (Fleury et al., 2014). Elle insiste également sur l'autonomie et les ressources locales et promeut une diversité à tous les niveaux (Morelle, 2020).

Contrairement aux autres modèles agricoles, le modèle bio est un mode de production très réglementé et basé sur un cahier des charges complexe. Le respect de ce cahier des charges permet à l'agriculteur de vendre ses produits labellisés « biologiques » ou « bio » (Contrôle et certification - Portail de l'agriculture wallonne, s. d.).



Figure 1 : Évolution de la superficie (ha) et du nombre de fermes bio en Wallonie (Biowallonie, 2020)

En Wallonie, la production biologique, apparue dans les années 70, est en pleine expansion (Figure 1).

En décembre 2020, 12% de la surface agricole utile wallonne étaient sous contrôle bio, ce qui correspond à près de 90.000 ha. Cela correspond à 15% des fermes wallonnes, à savoir 1.901 fermes (Beaudelot & Gallez, 2021).

43% de cette surface se trouvent dans la province du Luxembourg, 26% dans la province de Liège, 18% dans la province de Namur, contre 9% dans le Hainaut et 4% dans le Brabant wallon. A noter que ce sont ces deux dernières provinces qui détiennent actuellement la plus grande proportion des terres en conversion (Beaudelot & Gallez, 2021).

De plus, un peu moins de trois-quarts de la surface agricole bio en Wallonie est composée de prairies temporaires et permanentes, contre 86% en 2011. En 2020, les grandes cultures représentaient 21,6% de cette surface, en proportions variables en fonction des provinces. Les grandes cultures représentent un pourcentage des surfaces agricoles bio le plus élevé dans le Brabant wallon (60%) et le Hainaut (33%), ensuite dans la province de Namur (29%) et finalement dans la province du Luxembourg (19%) et de Liège (12%), où la majorité est occupée par des prairies (Beaudelot & Gallez, 2021).

Au niveau de la consommation, l'engouement wallon est présent également. La part de marché du bio en Wallonie a augmenté de 1,6% en 2008 à 4,9% en 2020 (Beaudelot & Gallez, 2021).

3.2 ABC : émergence d'un nouveau modèle ?

AB et AC, malgré une revendication commune de produire de façon respectueuse pour l'environnement, diffèrent quant à leurs choix techniques utilisés. Cependant, on observe à l'heure actuelle l'émergence d'un processus d'hybridation technique entre AC et AB, menant à l'Agriculture Biologique de Conservation (ABC). Ce processus est discuté dans les points suivants, montrant l'utilité d'une convergence entre ces deux agricultures, la difficulté majeure face à cette convergence et présentant enfin deux visions différentes de la construction d'une ABC.

3.2.1 Tension entre travail du sol et intrants de synthèse

AB et AC ont chacun leurs défauts respectifs. Tandis que l'AC est parfois jugée comme dépendante d'intrants de synthèse (Vankeerberghen & Stassart, 2016), certaines études montrent que l'AB ne permet pas toujours d'améliorer la fertilité du sol, ni de prévenir l'érosion (Casagrande et al., 2016). C'est pourquoi une convergence entre les deux modèles permettrait d'augmenter la durabilité de la production agricole.

Cependant, une tension entre travail du sol et intrants de synthèse complique cette convergence.

L'utilisation de produits phytosanitaires et l'utilisation de fertilisants organiques et de synthèse sont deux pratiques additionnelles de la définition de l'AC, selon Manon Ferdinand (cf. page 11). D'une part, Ferdinand et al. (2019) ont montré l'existence d'une tension

importante entre travail du sol et herbicide, en particulier pour la gestion de l'enherbement. Le développement du premier pilier, un travail minimum du sol, est généralement associé à l'utilisation d'herbicides systémiques à large spectre, tels que le glyphosate (Vankeerberghen & Stassart, 2016), bien que certains défenseurs de l'AC assurent que la gestion de l'enherbement, lors d'une transition vers l'ABC, est tout à fait possible si les trois piliers de l'AC sont adoptés simultanément (MacLaren et al., 2021). D'autre part, l'utilisation de fertilisants organiques et de synthèse facilite le passage vers l'AC. Tout d'abord, il est recommandé, entre autres par la FAO, de corriger les éventuels déficits importants via une utilisation d'engrais chimiques et d'engrais verts, avant une transition vers l'AC (FAO, s. d.). Ensuite, l'application d'engrais minéraux azotés est souvent nécessaire, particulièrement en début de transition. En effet, le risque de non-disponibilité de l'azote par la culture en début de transition vers l'AC augmente, étant donné qu'il se trouve principalement sous forme organique et donc immobilisée, tandis que les plantes absorbent l'azote sous forme inorganique (Food & Agriculture Organization, 2020).

Inversement, avec l'interdiction de ces intrants chimiques, l'AB est dépendante du travail du sol, et en particulier du labour. Premièrement, le labour est un outil important dans la gestion de l'enherbement (Fleury et al., 2014) et réduire le travail du sol en AB demande une vigilance particulière (Cooper et al., 2016). Deuxièmement, le labour en AB a un rôle important pour incorporer les résidus organiques de surface dans le sol (Casagrande et al., 2016). Étant donné que les engrais de synthèse sont interdits en AB, la minéralisation de la matière organique est une source principale de nutriments pour les cultures. Or, avec un travail du sol réduit, cette minéralisation est retardée et limitée (Cooper et al., 2016).

3.2.2 Deux mouvements vers la construction d'une ABC

Le concept d'ABC est encore flou à l'heure actuelle. A titre d'exemple, la FAO², organisation de référence pour l'agriculture et la sécurité alimentaire, promeut en parallèle l'AB et l'AC mais sans parler de complémentarité entre celles-ci (Fleury et al., 2014).

Dans le cadre de ce mémoire, la définition donnée à l'ABC correspond à un système agricole respectant au mieux les trois piliers de l'AC, tout en respectant l'interdiction des produits issus de la chimie de synthèse (engrais et produits phytosanitaires), relative à l'AB. Ce mode de production serait généralement associé à l'adoption de la certification bio, permettant notamment de maintenir une rémunération suffisante, malgré une diminution fréquente de rendements (Connor, 2008) et des coûts de production plus élevés.

Ferdinand et al. (2019) ont identifié deux stratégies permettant la transition d'une AC vers une ABC : soit via une substitution mécanique des outils de désherbage, soit via une reconception des pratiques. Cette deuxième stratégie présente deux aspects, nommé « ABC

² Food and Agriculture Organisation of the United Nations ; Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

reconception végétal » et « ABC « reconception élevage », par Ferdinand et al. (2019). Certains se basent sur les plantes pour reconceptualiser le système : soit via une implantation rapide des couverts en jouant ainsi sur le deuxième pilier de l'AC, soit via l'étude des plantes indicatrices. D'autres se basent sur une association culture-élevage, permettant des pauses fourragères ainsi que le pâturage des couverts (M. Ferdinand et al., 2019). Cependant, Ferdinand et al. (2019) soulignent que l'utilisation d'outils mécaniques de désherbage (bineuses, herse étrille et mains-d'œuvre saisonnières) est toujours nécessaire, même dans cette stratégie de reconception. Par ailleurs, ces alternatives non-chimiques au glyphosate ont également été relevées par d'autres études (Antier, C. et al., 2020 ; Reboud et al., 2017).

3.2.3 ABC : Quid des piliers de l'AC ?

L'adoption de la certification bio en AC, quelle que soit la stratégie utilisée, entraîne une modification des différents piliers de l'AC. Nous nous appuyons sur la définition de l'AC de Manon Ferdinand, présentée dans la section précédente (cf. page 9), pour analyser la façon dont chacun des piliers et leurs indicateurs s'adaptent lors d'une transition vers l'ABC.

La première stratégie (dite « **ABC substitution mécanique** » ou « **ABC passages** »), mise en avant par Ferdinand et al. (2019) lors d'une transition de l'AC vers l'ABC, a un impact direct sur le premier pilier (travail du sol minimum). En effet, une substitution du désherbage chimique par un désherbage mécanique entraînerait une augmentation du nombre de passages modifiant principalement l'indicateur « passage des engins agricoles limité ». Cette stratégie pourrait avoir une incidence négative également sur les deux autres indicateurs, à savoir la profondeur et la superficie de sol travaillées ainsi que l'action sur le sol. L'efficacité et donc l'intensité de ces opérations culturales dépendront de différents facteurs tels que le stock initial de graines de mauvaises herbes, les conditions de sol et de climat... (Peigné et al., 2007).

De plus, lorsque les interventions mécaniques interviennent en amont de la culture, elles influencent négativement le deuxième pilier, la couverture semi-permanente ou permanente du sol. En effet, ces interventions mécaniques décalent le semis de la prochaine culture, diminuant ainsi la couverture du sol (Casagrande et al., 2016).

La deuxième stratégie (dite « **ABC reconception végétal** ») mise en évidence par Ferdinand et al. (2019) concerne majoritairement le deuxième pilier. Planter un couvert rapidement sur un sol nu est un moyen de remplacer le désherbage par travail du sol (M. Ferdinand et al., 2019). En effet, le développement des adventices est limité par compétition avec la lumière, les nutriments et l'habitat ou encore par des effets allopathiques des couverts (Peigné et al., 2007). De cette façon, la couverture, devenant un outil de désherbage, a un rôle important dans la transition vers l'ABC et permettrait de maintenir le premier et deuxième pilier.

La troisième stratégie décrite ci-dessus a été nommée « **ABC reconception élevage** » par Ferdinand et al. (2019). Cette stratégie, basée sur l'association culture-élevage, aurait une

influence positive sur le premier pilier (travail du sol minimum) par des pauses fourragères et du pâturage (M. Ferdinand et al., 2019). En effet, augmenter la proportion d'herbe ou de trèfle dans une rotation permettrait de limiter le nombre de graines d'adventices (Peigné et al., 2016) et donc de diminuer le nombre d'opérations mécaniques de désherbage. Le pâturage des couverts joue aussi sur cette limitation des adventices (M. Ferdinand et al., 2019). De plus, introduire ces nouvelles espèces dans la rotation influencerait également positivement le troisième pilier vu que cette pratique augmente ainsi la diversification de la rotation.

En outre, ce troisième pilier a déjà une place primordiale dans les deux modèles, en AB et en AC, individuellement (Cooper et al., 2016). Par ailleurs, l'interdiction d'intrants de synthèse demande une vigilance particulière vis-à-vis des risques de maladies et ravageurs. Pour ce faire, la mise en place de mesures préventives passe principalement par ce troisième pilier, via une diversification de la rotation, incluant des intercultures (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010).

Finalement, sur base de l'interdiction de tout intrant chimique de synthèse en AB, les deux premières pratiques additionnelles de l'AC (utilisation de produits phytosanitaires et de fertilisants de synthèse et organiques) sont inévitablement modifiées lors d'une transition vers l'ABC. Cette modification passe par une suppression des pesticides de synthèse et des engrais minéraux, augmentant la fertilisation organique ainsi que les méthodes de lutte biologique et les techniques de culture peu exigeantes en intrants (Fleury et al., 2014).

3.3 Réponses de l'ABC face aux changements climatiques

Cette section analyse en quoi une convergence entre AB et AC, menant à l'ABC, modifierait les stratégies d'atténuation et d'adaptation de l'AC développées dans le chapitre précédent.

3.3.1 Atténuation de l'ABC

3.3.1.1 N_2O

Tout d'abord, la formation de N_2O est encouragée par l'augmentation de l'azote minéral disponible, substrat des processus de nitrification et dénitrification (Kassam et al., 2009). Ainsi, la réduction de l'application d'engrais minéraux azotés va de pair avec une réduction des émissions de N_2O (Pellerin et al., 2017).

Cependant, ces engrais minéraux sont remplacés par des engrais d'origine organique en ABC. Or Powlson et al. (2011) soulignent que les pertes sous forme d'ammonium dans l'air et de nitrate dans l'eau provenant de l'application d'engrais organique sont généralement bien plus grandes que celles provenant des engrais minéraux. Ainsi, l'impact global des engrais d'origine organique pourrait finalement être plus élevé via la production indirecte de N_2O de l'ammoniac redéposé ou de la dénitrification des nitrates lessivés (Powlson et al., 2011).

De plus, l'AB, et donc probablement l'ABC, a généralement des rendements moindres par unité de surface (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010). Ainsi, ces émissions de N₂O par unité de nourriture produite sont susceptibles d'être plus élevées en ABC que dans d'autres modèles agricoles (Powlson et al., 2011).

3.3.1.2 CO₂

Concernant le dioxyde de carbone, l'ABC apporte un élément d'atténuation supplémentaire par rapport à l'AC, grâce à son interdiction des intrants de synthèse, en particulier des engrais azotés. En effet, selon la FAO, la synthèse chimique d'engrais azotés représente 10% des émissions directes en agriculture (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010).

Cependant, il existe certaines limites à l'atténuation des émissions de CO₂ par l'ABC à prendre en compte.

De plus, une augmentation du nombre de passages, en particulier via la transition « ABC substitution mécanique », réduit le bénéfice discuté dans le chapitre sur l'AC concernant le CO₂. D'une part, cette transition augmente la consommation de carburant ainsi que l'usage des machines agricoles, et engendre donc des émissions de CO₂ plus importantes. D'autre part, un travail du sol plus important augmente la minéralisation de la MO et donc les émissions de CO₂ (Pisante et al., 2015).

Cependant, si la transition se fait via la méthode « ABC reconception » ou si le nombre de passages reste limité, une réduction de CO₂ pourrait être observée à l'échelle de la parcelle. Ainsi, une convergence des deux modèles, AC et AB, serait favorable à l'échelle de la parcelle.

3.3.1.3 Séquestration de C

Tout d'abord, la substitution d'engrais minéraux par des engrais organiques en ABC permet une augmentation de COS. Cependant, comme vu précédemment, une augmentation de COS ne signifie pas automatiquement une séquestration de ce carbone. Ce phénomène, source de certaines confusions, est parfois discuté dans la communauté scientifique. Cela est illustré dans une lettre de Jens Leifeld et al. (2013) en réponse à un article de Gattinger et al. (2012) dans lequel ce dernier affirme que l'agriculture biologique augmente la séquestration de carbone dans les sols. Leifeld et al. (2013) réfutent cette affirmation : « *Gattinger et al. ignorent des aspects importants de l'évaluation de l'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone dans le sol* » et rappellent que dans le cas de l'application de fumier sur un champ, l'augmentation de la teneur en carbone organique sur celui-ci n'est pas un transfert net de carbone de l'atmosphère vers la terre mais plutôt un déplacement de carbone d'un site à un autre (Leifeld et al., 2013).

De plus, Cooper et al. (2016) rappellent un autre facteur à considérer concernant la séquestration en ABC. Cette convergence entre AB et AC permet en effet une amélioration de la concentration en carbone dans la surface du sol avec un apport de fumier et de cultures

de couverture plus élevés. Cependant, ce gain en carbone organique dans les couches supérieures n'implique pas toujours une augmentation à de plus grandes profondeurs. C'est pourquoi il faut rester prudent quant à la capacité d'atténuation des changements climatiques par l'ABC (Cooper et al., 2016).

Ceci démontre que, malgré un apport plus élevé d'engrais organique en ABC qu'en AC résultant en un taux en COS plus élevé en surface (Leifeld & Fuhrer, 2010), cet ajout de MO à lui seul ne suffit pas pour atténuer les changements climatiques via une séquestration de carbone.

De plus, dans le cas où la transition vers l'ABC se fait de manière couplée à l'élevage (ABC élevage), les pailles seront utilisées comme litière et fourrage pour les animaux, devenant ensuite du fumier qui sera lui-même in fine déposé au sol. Dans ce contexte, Powlson et al. (2011) rappellent que, malgré une meilleure stabilité du carbone sous cette forme, une partie du carbone des pailles originales se sera décomposée et transformée en CO₂ dans l'atmosphère. C'est pourquoi, finalement, le potentiel de séquestration sera plus faible sous forme de fumier ou de compost que dans le cas où les pailles sont directement incorporées après la moisson (Powlson et al., 2011).

Ensuite, une interdiction d'intrants de synthèse implique généralement un plus grand appui des légumineuses pour la fertilisation azotée. Tandis que cette insertion fréquente de légumineuses fixatrices d'azote dans la rotation, couplée à une réduction du travail du sol constitue pour certains un atout supplémentaire de l'ABC en termes de séquestration de carbone (Minasny et al., 2017), les légumineuses, et plus généralement des engrais azotés, auraient des effets antagonistes sur le stockage de carbone. D'une part, une augmentation de la disponibilité de l'azote influence favorablement la production de biomasse, augmentant ainsi la quantité de MO retournée au sol et donc finalement le COS et sa séquestration. D'autre part, une augmentation de la disponibilité de l'azote provoque une accélération de la dégradation de la matière organique, menant à une diminution de ces taux de COS (Chenu et al., 2019). En outre, la suppression d'engrais de synthèse en ABC engendre généralement de moins bons rendements, diminuant la photosynthèse ainsi que le COS, et réduisant ainsi le transfert de carbone de l'atmosphère vers le sol. Ce potentiel d'atténuation est évidemment à considérer en combinaison avec le coût environnemental bien plus élevé de la fabrication et l'utilisation des intrants minéraux, abordés précédemment (Powlson et al., 2011).

Par ailleurs, une transition vers l'ABC implique généralement une augmentation de l'utilisation d'outils mécaniques de désherbage, en particulier lors d'une transition de type « ABC passages » (M. Ferdinand et al., 2019). Ce travail du sol plus intense augmente la décomposition de la MO et ainsi le mouvement de carbone du sol vers l'atmosphère, réduisant le potentiel de séquestration (Powlson et al., 2011), même si, comme vu précédemment, ce potentiel avec un travail du sol minimum est finalement assez faible.

Dans le cas où la transition vers l'ABC passe par la méthode « ABC végétal », le facteur clef d'une bonne gestion des adventices est le développement rapide d'un couvert dense (Melander et al., 2013). Cette production de biomasse permet une augmentation de COS et de la photosynthèse, favorable à la séquestration.

3.3.2 Adaptation de l'ABC

Concernant les capacités d'adaptation, l'AB à elle seule est souvent mise aux côtés de l'agriculture conventionnelle en termes d'impacts sur le ruissellement et le contrôle de l'érosion (Chabert & Sarthou, 2020). C'est pourquoi une transition vers l'ABC pourrait être favorable à l'AB (Kassam et al., 2009) mais défavorable à l'AC en termes de conservation du sol et de l'eau, les deux indicateurs d'adaptation aux changements climatiques.

L'augmentation en COS en surface du sol en ABC, alors qu'elle fait l'objet de polémiques concernant l'atténuation par la séquestration de carbone, fait très souvent consensus sur les stratégies d'adaptation : son impact positif sur la conservation des sols et de l'eau est largement reconnu.

3.3.2.1 Conservation des sols

Tout d'abord, une transition vers l'ABC signifie, comme vu ci-dessus, une substitution des engrais minéraux par des engrais organiques. Même si cette augmentation de COS n'implique pas automatiquement une séquestration de carbone dans le sol, c'est un excellent moyen d'améliorer la qualité physique et biologique du sol, passées en revue dans la première section (cf. page 7) (Powlson et al., 2011). En effet, d'une part, au niveau de la qualité biologique des sols, cette addition de COS est un excellent moyen de développer les organismes du sol et sa fertilité via un recyclage des nutriments (Cooper et al., 2016), particulièrement importants en ABC. Cependant, une attention particulière doit être portée à la gestion des nutriments, pour éviter des pertes, ainsi qu'aux rapports C/N. Un rapport C/N trop élevé, par exemple dans le cas des pailles, pourrait immobiliser l'azote inorganique (Powlson et al., 2011). D'autre part, cette augmentation en COS est favorable à la qualité physique du sol, comme vu précédemment.

Si la transition vers l'ABC se fait via une intégration de l'élevage (« ABC élevage »), les qualités physique et biologique du sol sont également généralement positivement impactées (Chabert & Sarthou, 2020). En effet, premièrement, l'élevage permet une augmentation de la disponibilité de la MO pour la fertilisation avec comme conséquence une augmentation de la MO des sols dont les bienfaits ne sont plus à démontrer à ce stade (Peigné et al., 2007). Troisièmement, le pâturage des couverts permet une substitution à l'utilisation des outils de désherbage (M. Ferdinand et al., 2019), et ainsi une amélioration de la qualité physique des sols (Cooper et al., 2016).

Il est à noter que la nécessité d'utiliser des outils mécaniques pour le désherbage lors d'une transition de l'AC vers l'ABC impacte négativement la qualité physique du sol, notamment via une plus forte compaction (Peigné et al., 2007). En parallèle, cette augmentation du travail du sol en ABC affecte la qualité biologique du sol, via une redistribution du carbone vers les couches plus profondes et une minéralisation des fractions labiles de carbone. Cette dernière est un challenge en ABC, étant donné que la majorité des apports de carbone sont sous cette forme labile, plus sensible à la minéralisation (Cooper et al., 2016).

Finalement, l'augmentation de MO en surface lors d'une transition de type « ABC végétal » est, à nouveau, positive pour la qualité du sol et protège celui-ci de l'érosion (Sommer et al., 2014).

3.3.2.2 *Conservation de l'eau*

Concernant la conservation de l'eau, les sols particulièrement riches en matière organique en AB permettent une meilleure résistance aux sécheresses (Benoit et al., 2017). En effet, de plus grandes concentrations en COS en surface permettent d'améliorer le taux d'infiltration de l'eau dans le sol (Cooper et al., 2016), ainsi que la capacité de rétention de l'eau (Peigné et al., 2007). Cette augmentation de COS en ABC développée ci-dessus serait donc également favorable à la conservation de l'eau.

Cependant, comme vu précédemment, certains changements lors d'une transition de l'AC vers l'ABC pourraient être négatifs pour la qualité du sol, et donc en parallèle pour la conservation de l'eau. Par exemple, en cas d'augmentation des opérations de travail du sol, une compaction de celui-ci peut avoir lieu, ou encore, en cas de diminution de la couverture, cela favoriserait la formation d'une croûte en surface, ce qui, dans ces deux cas, provoquerait une diminution de l'infiltration.

Chapitre 2 : Objectifs du mémoire

La sécurité alimentaire mondiale est menacée par les changements climatiques. L'agriculture est face à un nouveau challenge : allier production suffisante, pour une population grandissante, à protection de l'environnement et augmentation de sa résilience. Le secteur agricole est donc aujourd'hui face à deux défis. D'une part, atténuer son impact sur les changements climatiques actuels en réduisant ses émissions de GES. D'autre part, diminuer sa vulnérabilité en développant des stratégies d'adaptation face à ces changements.

Pour répondre à ces défis de durabilité, différents systèmes agricoles se développent. L'Agriculture de Conservation (AC) et l'Agriculture Biologique (AB) en font partie. Ces deux modèles, malgré une volonté commune de respecter l'environnement, présentent des choix techniques différents, induisant des compromis à faire, qui rentrent parfois en conflit avec les défis cités ci-dessus.

Le mémoire de Manon Ferdinand (2019), dans la continuité du mémoire de Max Morelle et Jérôme Braibant (2018), a montré l'existence d'une tension importante entre travail du sol et herbicide. Cette tension rend plus difficile une convergence entre AB et AC, et freine la construction d'une Agriculture Biologique de Conservation (ABC). En effet, d'une part, l'AC est un modèle agricole fondé sur une minimisation importante du travail du sol mais restant tout de même généralement dépendante du glyphosate. D'autre part, l'ABC s'affranchit de l'utilisation du glyphosate et tente de minimiser le travail du sol, dans la mesure du possible.

Dans ce contexte, il paraît judicieux d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'AC en Wallonie, dans un contexte de changements climatiques. C'est dans cet objectif global que s'inscrit ce mémoire. Pour ce faire, trois sous-objectifs sont définis.

Le premier sous-objectif de ce mémoire est d'**identifier la diversité des changements dans les pratiques agronomiques des agriculteurs wallons qui incluent la certification bio dans leurs pratiques d'AC, tendant vers l'ABC**. La comparaison entre les pratiques de parcelles AC certifiées bio et de parcelles AC non certifiées appartenant à la même exploitation permettra cette identification.

Le second sous-objectif, dans la continuité du premier, est de **mesurer les effets de cette diversité de changements de pratiques sur la structure du sol**. Cette mesure de terrain permet d'intégrer une porte d'entrée plus technique à l'analyse, via la quantification d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques abordée dans l'état de l'art.

Le troisième et dernier sous-objectif concerne l'**identification des motivations et freins des agriculteurs wallons à acquérir la certification bio en AC ainsi que leur vision de l'avenir de leurs pratiques et/ou de leur exploitation**.

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1 La population

Suite à une analyse de la littérature et une définition claire des objectifs de ce mémoire, un plan d'échantillonnage ayant pour but de cibler les agriculteurs à interroger a été élaboré. Pour rappel, l'objectif de l'étude est d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'Agriculture de Conservation en Wallonie, dans un contexte de changements climatiques. Pour ce faire, la population considérée concerne les fermes en AC possédant aussi bien des parcelles certifiées bio que des parcelles non-certifiées. Cela a permis un appariement d'une parcelle AC certifiée bio et d'une parcelle AC non certifiée gérées toutes deux par le même agriculteur, sur le territoire wallon. De plus, ces parcelles devaient également être localisées dans la même région agricole, à proximité suffisante l'une de l'autre, pour permettre une comparaison plus efficace. Deux fermes dont les parcelles certifiées et non-certifiées n'étant pas localisées dans la même région ont d'ailleurs dû être rejetées de l'étude.

L'échantillonnage s'est basé sur l'inventaire de Manon Ferdinand, travaillant actuellement sur l'AC dans le cadre de sa thèse. Il rassemble les agriculteurs AC trouvés via différentes sources telles que le mémoire de Max Morelle et Jérôme Braibant et des Asbl comme Greenotec et Regenacterre, avec qui une collaboration s'est construite.

Cet inventaire comprend une série d'informations à propos de chaque agriculteur, plus ou moins complètes : nom, adresse, province, région agricole, certifié bio ou non, ABC ou AC, élevage ou non, cultures, téléphone, le contact à l'origine de ses coordonnées ainsi que quelques informations supplémentaires relatives à chacun. Il est à noter que les agriculteurs présents dans cet inventaire ont préalablement donné leur accord pour que ces données, confidentielles, soient partagées dans le cadre de ce mémoire.

La méthode du « purposive sampling » a ensuite permis de trier cet inventaire et d'éliminer un grand nombre d'agriculteurs ne répondant pas aux critères. Pour ce faire, un premier tri a été fait sur base des informations présentes dans l'inventaire, en éliminant les agriculteurs non-bios, ainsi que ceux 100% bios. Cette première sélection a permis de garder un total de 29 agriculteurs potentiels.

Un second tri a ensuite été fait via un ciblage par téléphone (cf. Annexe 1) permettant de vérifier et/ou compléter les informations de l'inventaire ainsi que de voir si l'agriculteur répondait aux critères. Lors de cet appel téléphonique, une série de questions ont été posées concernant la relation de l'agriculteur à l'AC et à l'ABC et l'origine de ce changement de pratiques. Seuls les agriculteurs étant en AC depuis plus de 5 ans et en bio sur une partie de l'exploitation depuis au moins 2 ans ont été retenus, et ceci dans deux buts : d'une part, rencontrer des agriculteurs ayant suffisamment d'expérience et d'autre part, pour permettre

une meilleure visualisation de l'impact des pratiques agronomiques sur la structure du sol des parcelles lors des mesures en champs.

Finalement, la méthode du « snowball sampling » ou méthode « boule de neige » a permis une vérification quant à la complétude de cette sélection. En effet, certains recoupements ont pu être réalisés lors des premiers entretiens ou lors de contacts avec des personnes extérieures (Farm for good, la SCAM et autres acteurs du secteur), lorsqu'il leur était demandé s'ils connaissaient des agriculteurs répondant à ces critères, mais aucun n'a cité d'agriculteur ne se trouvant pas encore dans l'inventaire.

Au terme de la phase d'échantillonnage, un total de sept agriculteurs correspondant aux critères a été identifié (Tableau 1). Malheureusement, l'un d'eux (agriculteur G) s'est montré indisponible lors de la période des entretiens et a donc dû être éliminé de l'échantillonnage.

Tableau 1 : Caractéristiques de la population.

Agriculteur	Province	Région agricole	Expérience AC [années]	Expérience ABC [années]	SAU [ha]	% de la SAU certifiée bio [%]	Élevage	Rencontré ?
A	Namur	Limoneuse	20	13	135	24	Non	Oui
B	Brabant wallon	Sablo-limoneuse	15	5	300	50	Non	Oui
C	Namur	Limoneuse	20	5	100	70	Non	Oui
D	Namur	Limoneuse	20	6	410	24	Non	Oui
E	Hainaut	Condroz	23	10	150	20	Non	Oui
F	Hainaut	Limoneuse	18	3	150	40	Non	Oui
G	Hainaut	Limoneuse	11	>2	NA	NA	NA	Non

2 Phase de terrain

2.1 Entretiens

La première porte d'entrée concerne les entretiens auprès des agriculteurs sélectionnés. Ces entretiens ont eu pour but de répondre aux deux premiers objectifs de ce mémoire : (i) caractériser les modèles AC / ABC, (ii) identifier la vision de l'avenir de l'exploitation et des pratiques des agriculteurs ainsi que leurs motivations/freins à la certification bio en AC.

Pour ce faire, le choix s'est porté vers des entretiens de type semi-dirigés. Ce type d'entretien permet de rester dans un cadre strict, tout en donnant la possibilité aux agriculteurs rencontrés de devenir acteurs de la discussion (Lugen, s. d.), il a également permis d'aborder des aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs.

2.1.1 Guide d'entretien

L'élaboration préalable d'un guide d'entretien (cf. Annexe 2) a été nécessaire pour assurer une certaine structure et complétude lors des discussions avec les agriculteurs. En effet, avoir en tête et à disposition un résumé de la structure de la discussion et les points à ne pas oublier permet de rendre l'entretien constructif et efficace.

Le guide d'entretien est divisé en trois parties. La première, la plus courte, permet de caractériser rapidement l'exploitation. Ensuite, la seconde partie a pour but de choisir deux parcelles AC, l'une certifiée et l'autre non certifiée bio, et de retracer l'historique sur 5 ans de chacune de ces deux parcelles. Enfin, le guide d'entretien se termine avec une partie concernant les motivations et freins que les agriculteurs soulèvent en faisant de l'AC et de l'ABC ainsi que les perspectives pour l'avenir de leur exploitation et de leurs pratiques.

2.1.2 Entretiens semi-dirigés

Comme dit précédemment, six agriculteurs répondant aux critères ont été rencontrés. Les entretiens se sont déroulés dans le courant des mois de février et mars. Sur place, la discussion s'est faite généralement à l'intérieur, en respectant les mesures sanitaires en vigueur. L'enregistrement des entretiens, avec l'accord préalable de l'interrogé, a permis une retranscription et une analyse approfondie de ceux-ci.

Il est à noter qu'avoir des données totalement complètes demande parfois beaucoup de patience. En effet, il a été fréquent que certaines données ne soient pas accessibles directement par l'agriculteur le jour de l'entretien (cultures gérées par un entrepreneur ou autre), ce qui a compliqué et ralenti le processus de récolte de données.

2.1.3 Sélection des parcelles

Lors de ce premier entretien, deux parcelles ont été sélectionnées, en concertation avec l'agriculteur. Ces parcelles ont été utilisées pour retracer l'historique des pratiques sur cinq années, ainsi que pour les mesures de terrain. C'est pourquoi les critères de sélection étaient multiples pour une comparaison cohérente.

Le premier et principal critère était de sélectionner une parcelle certifiée bio depuis minimum deux ans et une parcelle non-certifiée sur laquelle l'agriculteur estime être en AC depuis minimum cinq ans. Ce choix de seuil différent avait pour objectif d'inclure les agriculteurs AC en transition vers l'ABC sur toute l'exploitation (ou, du moins, dont l'objectif est d'obtenir la certification bio sur toute l'exploitation), mais possédant toujours certaines parcelles non-certifiées pour permettre la comparaison. Ainsi, imposer une expérience en ABC de plus longue durée aurait pu réduire encore davantage notre population. Cependant, une expérience suffisante en AC (cinq ans) paraissait tout de même indispensable, pour pouvoir supposer que l'agriculteur était un minimum sensibilisé et convaincu par ce modèle, afin de l'intégrer autant que possible sur les parcelles certifiées bio.

Ensuite, une culture semblable au moment des mesures était notre deuxième critère. En effet, la culture présente peut influencer grandement la mesure en champ, via par exemple son enracinement spécifique ou le travail du sol exigé.

De plus, un même type de sol et une pente à peu près semblable, sur toute ou au minimum une partie de la parcelle étaient les troisième et quatrième critères de sélection.

En pratique, lors des entretiens, les deux premiers critères étaient présentés à l'agriculteur, et celui-ci proposait à son tour des parcelles qui lui paraissaient intéressantes pour la comparaison. Nous vérifions ensuite ensemble les types de sol de ces parcelles, via la « Carte Numérique des Sols de Wallonie » disponible sur le Géoportail de Wallonie (*WalOnMap*, s. d.).

2.2 Mesure en champ

Une mesure de terrain a été réalisée sur chacune des parcelles sélectionnées. L'objectif premier de cette mesure en champ était d'intégrer une porte d'entrée plus technique, d'observation des bénéfices/dommages des deux systèmes agricoles (AC et ABC) sur un de ces indicateurs de capacités d'adaptation et/ou d'atténuation aux changements climatiques. Cela constitue le deuxième objectif de ce mémoire (cf. page 25).

2.2.1 Détermination de l'indicateur à quantifier

Suite à une analyse de la littérature menant à la rédaction de l'état de l'art, une série d'indicateurs ont été considérés concernant les capacités d'atténuation et d'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques.

2.2.1.1 Indicateurs d'atténuation

Sur base de critères de faisabilité et de pertinence de quantification, les indicateurs d'atténuation de l'agriculture face aux changements climatiques (CO₂, N₂O et séquestration de carbone) ont été écartés pour la mesure en champs.

Et pourtant il aurait été judicieux de pouvoir quantifier le protoxyde d'azote dans la mesure où les effets de l'AC sur cet indicateur sont controversés. En effet, selon certaines études (Corsi & FAO, 2012 ; Powlson et al., 2011) des émissions de protoxyde d'azote plus importantes en AC pourraient contrebalancer les effets bénéfiques de la séquestration de carbone dans le sol, séquestration qui, elle-même, est un indicateur controversé également. Mais cet objectif est irréaliste dans ce mémoire, en raison de la complexité, du coût élevé des méthodes de quantification des flux de GES, ainsi que de la grande variabilité spatiale et temporelle des flux (Olander et al., 2013). En effet, la majeure partie du flux annuel se produit en quelques jours seulement, principalement lors d'épisodes de gel-dégel (Olander, 2014).

De plus, concernant la séquestration de carbone dans le sol, plusieurs éléments empêchent cette quantification dans le cadre de cette étude également. Premièrement, comme expliqué

dans l'état de l'art, il est nécessaire de distinguer séquestration et stockage quand on parle d'atténuation. Ceci demanderait donc une distinction dans les pools de COS, ce qui est particulièrement difficile. Deuxièmement, il a été démontré que le non-labour provoquerait une relocalisation du carbone dans le sol. Dans ce contexte, il est important de considérer une profondeur adéquate, c'est-à-dire en considérant les horizons plus profonds, ce qui complique l'échantillonnage. Troisièmement, le COS initial n'étant pas connu, il est difficile d'émettre des conclusions en mesurant simplement un stock de carbone à un moment précis (Chenu et al., 2019). Pour ces raisons entre autres, il a été décidé de ne pas mesurer la séquestration de carbone dans le cadre de ce mémoire.

2.2.1.2 Indicateurs d'adaptation

Pour rappel, les deux stratégies d'adaptation aux changements climatiques, développées dans l'état de l'art, sont la conservation des sols et la conservation de l'eau.

Un choix a dû être fait et s'est porté vers un indicateur de la qualité physique des sols, qui nous paraissait le plus représentatif de ces capacités d'adaptation : **la structure du sol**.

En effet, la conservation des sols influence directement la conservation de l'eau, via notamment une augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol et une diminution du ruissellement. C'est pourquoi, un indicateur de conservation des sols est un bon proxy pour ces deux stratégies d'adaptation. De plus, la structure du sol est souvent considérée comme l'élément central de la qualité des sols et est fortement influencée par toutes les autres propriétés du sol, physiques ou biologiques.

2.2.2 Détermination de la mesure en champ

Le choix de la mesure en champ s'est principalement basé sur le mémoire de Nicolas Biot (Biot et al., 2020), intégré dans la thèse de Lola Leveau, étant donné que son sujet de mémoire est directement lié à l'évaluation de la structure du sol.

Une première sélection a donc tout d'abord été faite suite à une analyse des nombreuses méthodes abordées dans le mémoire de Nicolas Biot, sur base de critères de faisabilité et de pertinence. En effet, la mesure sélectionnée devait pouvoir caractériser la structure du sol à un moment t , tout en étant en parallèle rapide, simple, peu coûteuse. Certaines méthodes, comme la méthode Ariane Chabert, ont également été écartées à cause de grandes variabilités en fonction de la culture et/ou du contenu en eau du sol ainsi que leur faible utilisation dans la littérature.

C'est finalement suite aux précieux conseils de Nicolas Biot et Lola Leveau que le choix de cette mesure en champs s'est dirigé vers deux méthodes : la méthode VESS et la méthode USDA. La méthode VESS permet une "évaluation visuelle de la structure des horizons de surface des sols cultivés", cependant au vu des résultats peu concluants obtenus via cette mesure, son développement et ses résultats ont été écartés de l'analyse et se trouvent en

annexe de ce mémoire (cf. Annexe 5). La méthode USDA donne une indication sur la stabilité des agrégats du sol, via une observation de leur comportement lors de leur immersion dans l'eau, elle sera décrite plus précisément dans la section 2.2.4 ci-dessous.

2.2.3 Dispositif d'échantillonnage

Au sein des parcelles sélectionnées précédemment (cf. page 28), différents échantillons ont été prélevés. Le choix du nombre d'échantillons à réaliser s'est fait en concertation avec Nicolas Biot et Lola Leveau, ainsi qu'en consultant la littérature (Prosensols, 2012). C'est ainsi qu'il a été décidé de faire dix mesures USDA par parcelle. Les échantillons ont été prélevés au sein de cinq placettes, celles-ci disposées en étoile de façon à être réparties au mieux au sein de la parcelle (Figure 2). Pour choisir la localisation des placettes, les zones non homogènes ont été rejetées, telles que les tournières, les bords de champ contre route, les court-tours ou les limites avec d'autres parcelles.

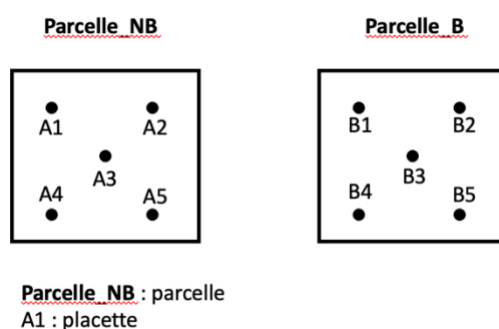


Figure 2 : Plan des placettes au sein des parcelles expérimentales. Parcelle_NB: parcelle non certifiée bio. Parcelle_B : parcelle certifiée bio.

En pratique, la localisation des placettes s'est faite grâce à l'application « Mapit GIS », sur laquelle la « Carte Numérique des Sols de Wallonie » a été préalablement téléchargée. Un exemple de localisation de placettes se trouve à l'Annexe 8.

Par ailleurs, l'agriculteur était prévenu la veille de la mesure en champ, d'une part par respect et d'autre part pour éviter de passer après un passage particulier tel qu'une fertilisation.

Finalement, un climat propice était nécessaire, principalement pour la méthode VESS (rejetée de l'étude). Un sol humide mais ressuyé est optimal pour cette dernière. Les mesures en champ ont été réalisées début avril.

2.2.4 Description de la méthode USDA

Pour rappel, la méthode USDA est basée sur l'observation du comportement d'agrégats dans de l'eau. Elle est inspirée de la méthode décrite dans le cadre du projet « Prosensols ». L'échantillonnage consiste à récolter des agrégats localisés entre 0 et 1,5 cm de profondeur et mesurant entre 0,5 et 1 cm de diamètre. Comme vu dans la section précédente, dix

agrégats ont été prélevés par parcelle, à raison de deux agrégats par placette. Ces échantillons ont ensuite été séchés à l'air libre, pendant minimum 24h.

Une fois les échantillons séchés, la mesure consiste à poser l'échantillon sur un filtre, le plonger dans de l'eau déminéralisée pendant 5 minutes et finalement lui donner un score selon le tableau de classes ci-dessous (Tableau 2). Si moins de 50% de l'agrégat sont dissous à la fin des cinq minutes d'immersion, il convient de relever le filtre pour sortir l'échantillon et le rabaisser directement jusque dans le fond du bac d'immersion. Cette opération est à répéter quatre fois (total de cinq immersions) (Prosensols, 2012).

Les scores, allant de 0 à 8, augmentent avec la stabilité structurale du sol étudié.

Dans le mémoire de Nicolas Biot, une piste d'amélioration de la mesure a été proposée concernant l'échelle de pondération. En effet, pour permettre d'affiner la mesure et de mieux rendre compte des différences inter-parcelles, il a été proposé d'ajouter deux scores à cette échelle. Cette proposition paraît intéressante dans le cadre de ce mémoire, étant donné que les sols analysés sont des cultures, ce qui, a priori, diminue la variabilité inter-parcelles. C'est pourquoi les scores de 6 à 8 ne rejoignent pas l'échelle de pondération du projet Prosensols : les situations lorsqu'il reste entre 25% et 100% de l'échantillon étaient classées en 2 scores selon le projet Prosensols mais suite à la proposition d'amélioration de Nicolas Biot, les agrégats peuvent recevoir quatre scores différents entre 25% et 100% : un score de 5 lorsqu'il reste entre 25 et 50 % des agrégats de départ après les 5 immersions, 6 pour 50 à 75 %, 7 pour 75 à 90% et 8 pour 90 à 100% (Biot et al., 2020).

Tableau 2 : Critères pour l'attribution des scores USDA (Prosensols, 2012), améliorés par Nicolas Biot.

Classes	Critères
0	Sol trop instable pour récolter un agrégat (tout le sol passe à travers le filtre)
1	50% de l'échantillon est dissous en 5 secondes lors de l'immersion dans l'eau.
2	50% de l'échantillon est dissous entre 5 à 30 secondes après immersion.
3	50% de l'échantillon est dissous entre 30 sec et 5 min après immersion ou Il reste moins de 10 % de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.
4	Il reste entre 10 et 25% de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.
5	Il reste entre 25 et 50% de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.
6	Il reste entre 50 et 75% de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.
7	Il reste entre 75 et 90% de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.
8	Il reste entre 90 et 100% de l'agrégat de départ après 5 cycles d'immersion.

3 Traitement des données

3.1 Entretiens

Les entretiens ont été retranscrits et ensuite analysés de deux façons différentes.

3.1.1 Caractérisation des modèles AC / ABC

Tout d'abord, les deux premières parties du guide d'entretien, à savoir la caractérisation de l'agriculteur et de l'exploitation ainsi que l'historique des pratiques sur les parcelles sélectionnées, ont été encodées dans un fichier Excel.

Avant toute chose, il est important de souligner que la méthodologie pour la caractérisation des modèles a été basée et réalisée en concertation avec la thèse de Manon Ferdinand, sur l'Agriculture de Conservation en Wallonie. C'est pourquoi la collecte des informations auprès des agriculteurs s'est appuyée sur les concepts et indicateurs relatifs à l'AC, définis par Manon Ferdinand et recensés dans l'état de l'art (cf. page 9). Dans cette section et pour la suite du mémoire, il est important de distinguer les termes « observations » et « variables ». Tout d'abord, les observations sont les informations récoltées auprès des agriculteurs lors des entretiens. Sur base de ces observations, des variables, définies au préalable, permettent de quantifier les indicateurs de la définition de l'AC définis par Manon Ferdinand. Ce sont donc les observations qui permettent ensuite de donner des résultats aux différentes variables, celles-ci décrivant les indicateurs de l'AC. L'ensemble des observations et variables décrites ci-dessous, ainsi que les indicateurs qu'elles quantifient sont recensés en annexe (cf. Annexe 3).

3.1.1.1 Observations récoltées

Les observations ont été encodées dans des feuilles Excel distinctes selon qu'elles concernaient les caractéristiques de l'agriculteur, les caractéristiques de l'exploitation, le pilier 1, 2 ou 3, la fertilisation ou l'utilisation de produits phytosanitaires.

Il est à noter que certains choix ont été faits préalablement à l'encodage dans le fichier Excel.

Tout d'abord, l'ensemble des informations ont été récoltées sur une période de cinq années, de la date du semis de la culture de 2016 à celle du semis de la culture de cette année (2021). Une prise en considération de la culture de cette année était importante, étant donné que les mesures en champ ont été réalisées sur celle-ci. Cependant, nous nous sommes arrêtés au semis vu que la saison culturale n'était pas terminée au moment des entretiens. Par ailleurs, il est arrivé que la période de recensement des pratiques soit plus courte que cinq ans pour deux principales raisons : soit l'agriculteur n'était pas en possession et ne savait pas fournir d'informations au-delà d'une certaine année, plus récente que 2016, soit la conversion vers l'ABC s'est faite après 2016.

A propos de la caractérisation de l'agriculteur et de l'exploitation, les observations concernaient les années d'expérience en AC et ABC, les pratiques du prédécesseur, la SAU totale sur l'exploitation, la proportion de celle-ci certifiée bio, l'intégration ou non de l'élevage et du pâturage des couverts et/ou repousses.

Pour le premier pilier (travail du sol minimum), différentes observations ont été récoltées : les passages de travail du sol sur la parcelle, la profondeur de travail et les outils employés. Ces passages concernent les opérations de semis, de plantation, de travail du sol et les récoltes de pommes de terre, betteraves et chicorées. Ainsi, certains passages sur le champ ne sont pas pris en considération : ceux n'impliquant pas de travail du sol (moissonneuse-batteuse, ensileuse, faucheuse, faneuse, andaineur, presse, enrubaneuse...), les travaux de traitements, les travaux manuels, les pâturages et l'étalement des résidus.

Concernant le second pilier (couverture semi-permanente ou permanente du sol), les dates de semis et de récolte ont été rassemblées.

Concernant le troisième pilier (diversification des cultures), les observations récoltées concernent les espèces, familles, et l'objectif de la culture (culture principale ou interculture).

Concernant les deux pratiques additionnelles, à savoir la fertilisation et l'utilisation de produits phytosanitaires, les produits, doses et dates d'application ont été recensées pour chaque passage. Néanmoins, étant donné que l'indicateur IFT sélectionné n'a pas donné de résultats cohérents, les données relatives aux produits phytosanitaires ont été rejetées de l'analyse et ne seront plus abordées dans la suite de ce mémoire.

3.1.1.2 *Variables en sortie*

Après récolte de l'entièreté des informations et finalisation de l'encodage, ce fichier Excel a été traité via le logiciel Rstudio, dans le but d'obtenir, pour chaque indicateur et sur base des observations récoltées, des variables permettant in fine de caractériser chacun de ces indicateurs sur la parcelle concernée.

Concernant le premier pilier, le choix des variables est basé sur les trois critères de classification de la diversité des types d'outil de travail du sol de Laurent et al. (2014) : (i) le mode d'effet que l'outil a sur le sol et les résidus de culture, (ii) la profondeur de travail et (iii) la proportion de la surface de parcelle travaillée. Premièrement, chacun des travaux de sol recensés, suivant les critères vus précédemment, a été classé de un à trois selon son action sur le sol. Un score de un représente une action de fragmentation du sol sans retournement, sans mélange et avec un minimum d'enfouissement. Un score de deux représente une action de fragmentation du sol sans retournement, mais accompagnée d'une action de mélange ainsi qu'un enfouissement. Finalement, un score de trois représente une action sur le sol impliquant une fragmentation, un retournement ainsi qu'un enfouissement. Cette classification a permis de pondérer chaque opération de travail du sol par son action sur le

sol, première variable en sortie de ce premier pilier. La seconde variable est simplement la profondeur de travail du sol. Le troisième et dernier critère de Laurent et al. (2014) (la proportion de la surface de parcelle travaillée) a été écarté dans le cadre de ce mémoire, étant donné que les travaux de sol de type strip-till sont encore peu répandus en Wallonie. Finalement, le premier pilier est représenté par une dernière variable : la proportion de semis parmi les opérations de travail du sol.

A partir des observations récoltées, les variables caractérisant le second pilier sont la moyenne annuelle de couverture, la moyenne de couverture de mai à septembre ainsi que la proportion de cultures de printemps entre mai et septembre. Dans ce mémoire, la date de début de la couverture est égale à la date de semis et la date de fin de la couverture est soit la date lorsque le sol est considéré comme nu, c'est-à-dire lors du premier travail du sol suivant la récolte, qui engendre un enfouissement des résidus de culture, soit la date du semis suivant lorsque deux cultures se suivent directement, soit la date du semis de la culture de 2021. De plus, cette précision sur la période de mai à septembre a été faite, sachant que durant cette période, les sols non-couverts sont plus sensibles à l'érosion. Par ailleurs, l'implantation d'une culture de printemps couvrira moins le sol durant cette période en comparaison à une culture d'hiver, au vu de l'avancement du cycle végétatif de la culture. Or, selon notre méthode, le sol est considéré comme couvert dès le semis d'une culture, cela explique la variable « proportion de cultures de printemps entre mai et septembre ».

Ensuite, le troisième pilier est caractérisé par la moyenne annuelle d'espèces différentes, la proportion d'associations (représentant le type de diversification : associations ou monocultures), la proportion d'intercultures (en comparaison aux cultures principales), la proportion de graminées et la proportion de légumineuses (en comparaison aux autres familles de plantes) et finalement la proportion d'espèces à action négative pour le sol selon le CRA-W (pomme de terre, betterave, maïs, oignons et plantes racines) (CRA-W, cité par (Biielders, 2020).

Concernant la fertilisation, les quantités d'engrais azotés et phosphatés ont été calculées, et séparées selon leur origine, minérale ou organique. Dans le cas où l'agriculteur a fourni directement les unités d'azote et de phosphore appliquées à chaque fertilisation, celles-ci ont été prises en compte. Dans le cas contraire, principalement pour les engrais organiques, le calcul a été fait sur base de sources externes, en priorité sur base des informations fournies par Protect'eau pour la composition des engrais de ferme (Protect'eau, s. d.). En parallèle à ces quantités d'engrais azotés et phosphatés, la dernière variable concernant la fertilisation est la proportion d'engrais organiques sur la totalité d'engrais apportés sur la période.

3.1.1.3 *Traitements statistiques des données*

Pour traiter les résultats des variables décrites précédemment, il n'a pas été possible de réaliser des tests d'hypothèses, à cause de la taille restreinte de l'échantillon. C'est pourquoi

l'analyse s'est limitée à des statistiques descriptives, telles que des analyses graphiques, comparaison des moyennes ou une « analyse en composantes principales » (ACP).

3.1.2 Analyse qualitative de l'entretien

Finalement, les informations concernant les motivations et freins des agriculteurs à adopter ces modèles AC/ABC, ainsi que leur vision de l'avenir de leurs pratiques et de leur exploitation, ont été traitées via le logiciel d'analyse qualitative de données, Nvivo®. Ce logiciel a permis d'organiser et de déchiffrer les données qualitatives des entretiens, en les encodant dans des « nœuds », correspondant à une thématique bien précise. Dans le cadre de ce mémoire, la méthode d'encodage déductif a été suivie lors de la première étape d'encodage, c'est-à-dire que les nœuds généraux ont été créés préalablement à l'encodage, sur base des questions figurant dans le guide d'entretien et des principaux nœuds ressortant de la littérature. Ainsi, quatre nœuds principaux ont été créés : les motivations à adopter la certification bio, les freins à cette adoption, le type de modèle concerné (AB, ABC et AC), le stade d'évolution concerné par le verbatim (phase d'adoption, phase de transition, phase stabilisée) et finalement un nœud reprenant les verbatims intéressants, représentatifs des pratiques des agriculteurs.

Par la suite, la méthode d'encodage inductif a également été utilisée pour rester ouvert à la création de nœuds supplémentaires. Pour analyser cet encodage, certains outils d'exploration des données du logiciel, tels que l'outil « requêtes encodage », ont simplifié l'analyse en permettant notamment de faire des croisements entre les différents nœuds existants.

3.2 Mesure en champ

Concernant la mesure en champ, les résultats ont d'abord été encodés dans Excel et ils ont ensuite été traités via différentes méthodes statistiques, développées ci-dessous. Ces analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel JMP.

Pour rappel, l'objectif premier de l'analyse statistique était de savoir si la certification bio influence significativement les résultats de USDA, c'est-à-dire la structure du sol.

3.2.1 Statistiques descriptives

La première étape a été de visualiser les données et de calculer leurs moyennes, écart-types, erreurs standard de la moyenne, minimum, 1^{er} quartile, médiane, 3^{ème} quartile et maximum, pour les résultats de chacun des systèmes AC et ABC.

3.2.2 Modèle mixte

Au vu du nombre de répétitions des mesures en champs, il a ici été possible de procéder à des tests d'inférence pour tester la significativité de la certification bio, contrairement à la section précédente (cf. page 35). Pour ce faire, un modèle à effets aléatoires (modèle mixte)

a été utilisé, correspondant le mieux à nos données. En effet, deux variables catégorielles influencent les résultats dans ce jeu de données : l'agriculteur et la certification bio. Le modèle mixte utilisé considère l'effet de l'agriculteur comme effet aléatoire et l'effet de la certification bio comme effet fixe. Étant donné que l'effet de l'agriculteur risque de modifier la matrice de variance-covariance et ainsi d'affecter l'inférence sur le paramètre fixe (la certification bio), utiliser un modèle mixte permet de mesurer cet effet de la certification bio sur les résultats, tout en prenant en considération la dépendance des observations liée à l'effet de l'agriculteur (Draye & Govaerts, 2019). Le modèle utilisé est le suivant :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j + (\alpha b)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2 ; j = 1, \dots, 6 ; k = 1, \dots, n$$

$$\begin{aligned} b_j &\sim iN(0, \sigma_b^2) \\ (\alpha b)_{ij} &\sim iN(0, \sigma_{\alpha b}^2) \\ \varepsilon_{ijk} &\sim iN(0, \sigma^2) \end{aligned}$$

Avec :

- μ Moyenne générale (fixe)
- α_i Effet du $i^{\text{ème}}$ type de modèle (AC ou ABC) (fixe)
- b_j Effet du $j^{\text{ème}}$ agriculteur (aléatoire)
- $(\alpha b)_{ij}$ Effet d'interaction entre le $i^{\text{ème}}$ type de modèle et le $j^{\text{ème}}$ agriculteur (aléatoire)
- ε_{ijk} Fluctuation aléatoire entre les placettes d'un même agriculteur du même niveau de modèle (AC ou ABC)

Hypothèses : les termes b_j , $(\alpha b)_{ij}$ et ε_{ijk} sont indépendants entre eux

Le test de l'effet de la certification teste les hypothèses suivantes, par le test de Fisher :

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0 \quad H_1: \text{non } H_0$$

Il y a rejet de l'hypothèse H_0 lorsque la p-valeur du test de Fisher est inférieure à 0,05.

4 Schéma méthodologique

La méthodologie du mémoire développée dans ce chapitre est résumée dans le schéma méthodologique ci-dessous (Figure 3).

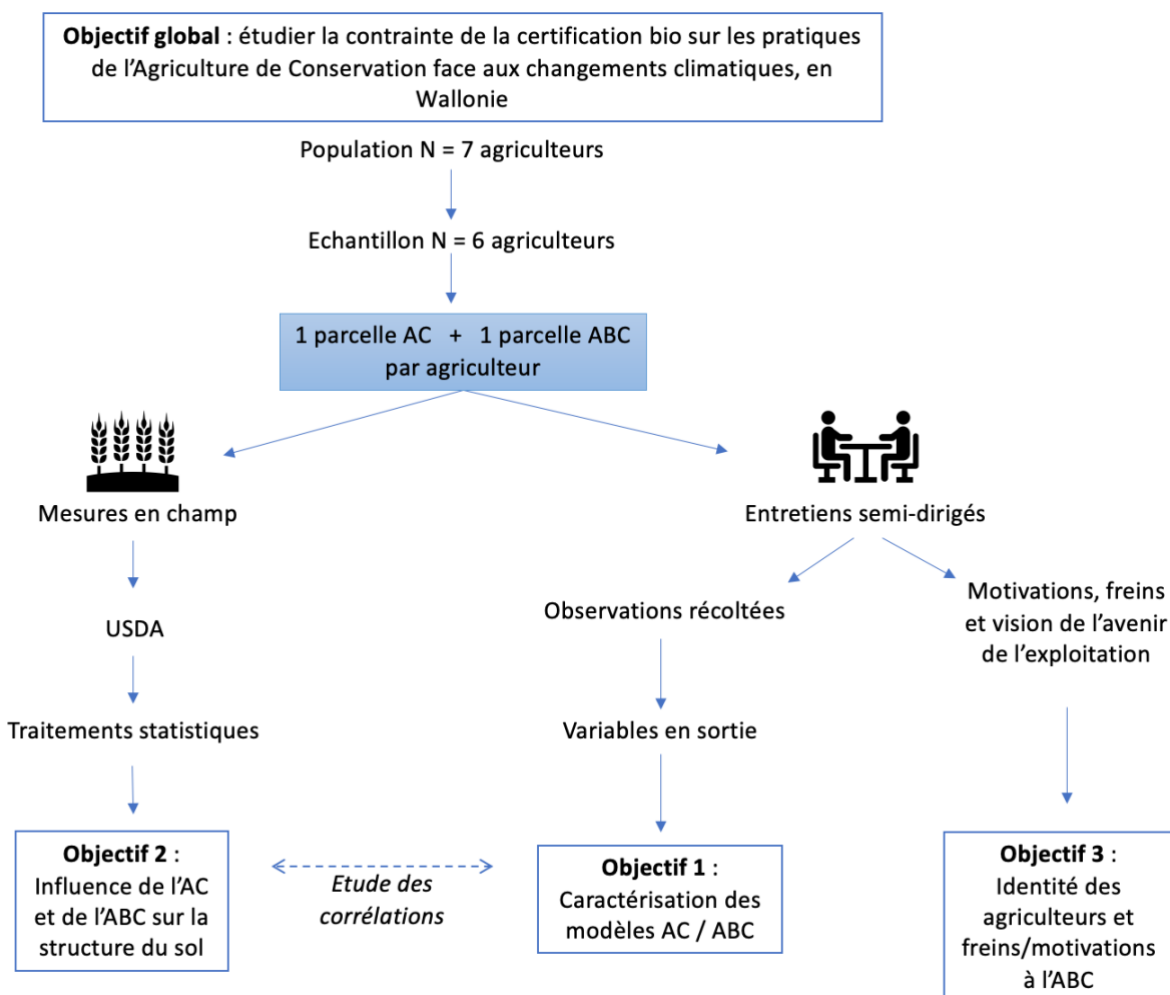


Figure 3 : Schéma méthodologique du mémoire.

Chapitre 4 : Résultats

1 Présentation des parcelles

Préalablement à la présentation des résultats, il est important de replacer rapidement les six agriculteurs et leurs deux parcelles respectives dans leur contexte (Tableau 3).

Tableau 3 : Caractéristiques relatives aux six agriculteurs et leurs deux parcelles respectives (ABC : certifiées bio, AC : non-certifiées).

Agriculteur	Région agricole	SAU [ha]	Élevage	Parcelles	Succession culturale *	Prairie temporaire	Pomme de terre
A	Limoneuse	135	Non	AC	CH,I,B,H,I, Pdt,CH,	Non	Oui
				ABC	CH,I,P,E, Pdt,CH/P,I, O, CH	Non	Oui
B	Sablo-limoneuse	300	Non	AC	I,CH,I,Pdt, CH	Non	Oui
				ABC	I,CH,I,Pdt, P,I,CH	Non	Oui
C	Limoneuse	100	Non	AC	H,CH,I,P,I, Pdt,CH	Non	Oui
				ABC	Q,H,Pdt,P, I,CH	Non	Oui
D	Limoneuse	410	Non	AC	CP,CH,I,B, Pdt,CH	Non	Oui
				ABC	PT,M,P,I, CH	Oui	Non
E	Condroz	150	Non	AC	I,CP,CH,CH, I, M,CH, CH	Non	Non
				ABC	PT,CP,CP/CP/P,CH,CH/P	Oui	Non
F	Limoneuse	150	Non	AC	CH,I,CH, C/I,I,CH/I	Non	Non
				ABC	CH,I,CH/P, CP/I,CP/L	Non	Non

**Légende* : Céréales d'hiver : CH, Céréales de printemps : CP, Colza : C, Intercultures ou sous-semis : I, Betterave : B, Haricots : H, Pomme de terre : Pdt ; Pois : P, Epinards : E, Oignons : O, Quinoa : Q, Prairie temporaire : PT, Féveroles : F, Lentille : L, Maïs : M. Associations : « / », Succession : « , ».

A partir du tableau ci-dessus, on relève une grande diversité de successions culturales.

Tandis que les agriculteurs A,B et C cultivent des pommes de terre sur leurs deux parcelles, D en a en AC mais pas en ABC et les deux derniers agriculteurs (E et F) n'en ont pas du tout.

Ensuite, D et E se distinguent des autres agriculteurs par la présence d'une prairie temporaire en début de succession culturale sur leur parcelle ABC. L'agriculteur D a implanté un mélange luzerne-fétuque pendant trois ans, à partir de 2015. En outre, l'agriculteur E a implanté un mélange luzerne-avoine pendant deux ans et demi, à partir de 2015 également.

Finalement, les deux parcelles de F et la parcelle ABC de E (hormis la prairie temporaire) ne présentent que des céréales ou du colza, en association ou non.

Les choix de cultures dépendent d'une multitude de facteurs, incluant des aspects économiques et sociaux, non pris en considération dans le cadre de ce mémoire. Cependant, il semble primordial de garder en tête cette diversité de conditions des parcelles, lors d'une analyse des résultats des sections suivantes. L'interférence de la succession culturale de chaque parcelle sera prise en considération par la suite.

2 Caractérisation des modèles ABC et AC

Lors des entretiens, l'historique des pratiques sur cinq années a été retracé sur une parcelle certifiée bio (ABC) et une non-certifiée (AC) chez les six agriculteurs interrogés. Sur base de ces observations récoltées, l'objectif de ce chapitre est de comprendre comment les six agriculteurs interrogés pratiquent l'ABC et d'analyser les différences majeures entre les deux systèmes (AC et ABC), selon les trois piliers de l'AC et de la pratique additionnelle prise en compte, la fertilisation.

Pour ce faire, les observations récoltées ont été transformées en variables, permettant la comparaison. Il n'a pas été possible de faire de tests statistiques à cause de la taille restreinte de la population. En parallèle, une analyse en composantes principales n'a pas non plus donné de résultats concluants. Cependant, un approfondissement de certaines variables a tout de même été fait, variables sélectionnées sur base de l'état de l'art, du discours des agriculteurs ainsi que suite à une observation des résultats, permettant de distinguer les plus grandes variations entre modèles AC et ABC de notre échantillon.

2.1 Pilier 1 – Travail minimum du sol

2.1.1 Résultats des variables relatives au premier pilier

Concernant le premier pilier, le tableau ci-dessous (Tableau 4) présente les trois variables caractérisant le travail du sol sur les parcelles certifiées (ABC) et non-certifiées bio (AC), sur la période étudiée.

Premièrement, la profondeur maximale de travail du sol sur la période étudiée varie plutôt en fonction des agriculteurs que de la certification : cette variable est égale en AC et en ABC chez quatre agriculteurs, plus faible en ABC pour l'agriculteur D et plus élevée pour l'agriculteur E.

Deuxièmement, la proportion de semis, en comparaison aux autres opérations de travail du sol, est plus faible pour les parcelles ABC chez cinq agriculteurs et plus élevée chez le sixième (agriculteur D).

Troisièmement, la moyenne annuelle des opérations de travail du sol pondérées par leur action sur le sol est plus élevée sur les parcelles ABC que sur les parcelles AC chez quatre agriculteurs et plus faible chez les deux derniers. Rappelons que les parcelles ABC de ces deux derniers sont les seules à comprendre une prairie temporaire dans la succession culturale de la période concernée (cf. page 39).

Tableau 4 : Résultats des variables relatives au pilier 1 - travail minimum du sol - sur les parcelles certifiées bio (ABC) et non-certifiées (AC) des six agriculteurs rencontrés.

Agriculteur	Parcelle	Profondeur max (cm)	Proportion semis (%)	Moyenne des travaux de sol pondérés par leur action (Passages pondérés/an)
A	AC	27	37	9,05
A	ABC	27	16	22,47
Comparaison AC → ABC		=	↘	↗
B	AC	20	31	15,28
B	ABC	20	14	27,11
Comparaison AC → ABC		=	↘	↗
C	AC	30	25	10,88
C	ABC	30	16	20,62
Comparaison AC → ABC		=	↘	↗
D	AC	30	21	13,54
D	ABC	15	29	6,95
Comparaison AC → ABC		↘	↗	↘
E	AC	20	37	7,42
E	ABC	25	28	6,92
Comparaison AC → ABC		↗	↘	↘
F	AC	20	50	6,64
F	ABC	20	38	11,25
Comparaison AC → ABC		=	↘	↗

2.1.2 Focus sur la moyenne des passages pondérés à leur action

Concernant ce premier pilier, un nombre de passages et une action sur le sol plus élevés sur les parcelles ABC sont les deux composantes les plus abordées spontanément par les agriculteurs lors des entretiens. Celles-ci sont rassemblées en une seule variable dans le tableau ci-dessus (Tableau 4) : la moyenne annuelle des opérations de travail du sol pondérées par leur action sur le sol.

En effet, d'une part, durant les entretiens, cinq agriculteurs sur les six interrogés ont explicitement indiqué une augmentation du nombre de passages causé par l'adoption de la certification bio.

« Les travaux de sol, je dois bien vous avouer qu'en bio je ne les note pas tous. Parce qu'on passe un nombre innombrable de fois. » (C)

D'autre part, un appel plus fréquent à la charrue sur les parcelles certifiées a été confirmé par la majorité des agriculteurs interrogés. Pour rappel, les travaux de sol recensés lors des entretiens avec les agriculteurs ont été classés de un à trois, de l'action sur le sol la moins forte à la plus forte (cf. page 34). Un passage à action forte sur le sol, tel qu'un passage de charrue, augmente donc le score de la variable sélectionnée précédemment, la moyenne annuelle des passages pondérés par leur action sur le sol.

« Mais quand on compare les pratiques, c'est vrai qu'en bio nous on laboure quand-même encore beaucoup. » (B)

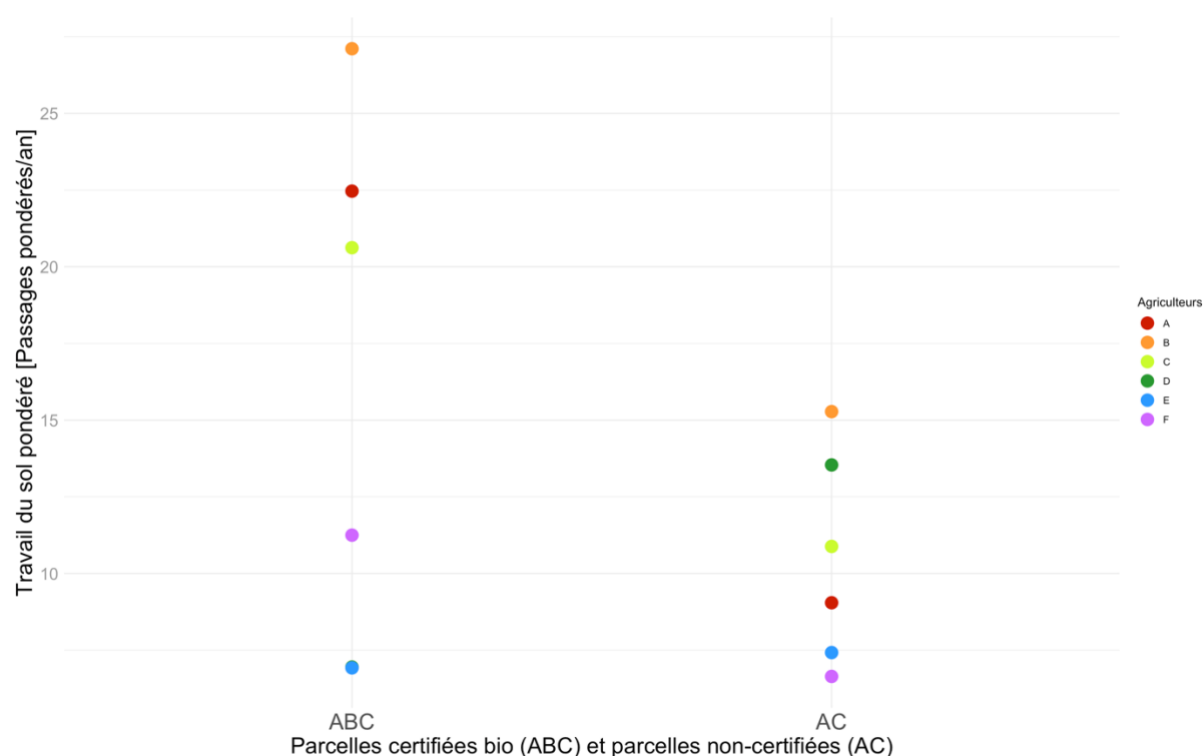


Figure 4 : Comparaison des moyennes annuelles des opérations de travail du sol pondérées par leur action sur le sol sur les parcelles certifiées bio (ABC) et non-certifiées (AC)

A partir des résultats et de la figure ci-dessus (Figure 4), il est possible d'identifier deux groupes parmi les agriculteurs en comparant les parcelles certifiées et non-certifiées bio de chacun. D'une part, les agriculteurs B, A, C et F ont une moyenne annuelle des opérations de travail du sol pondérées à leur action plus élevée sur leur parcelle certifiée (ABC) que sur celle non-certifiée (AC). Il est cependant à noter que cette moyenne est assez faible pour l'agriculteur F, chez qui les céréales dominent les successions culturales, en comparaison aux trois autres agriculteurs cités. D'autre part, pour les agriculteurs D et E (dont les points ABC se superposent sur le graphique), la moyenne est plus faible pour les parcelles certifiées (ABC) que celles non-certifiées (AC). Pour rappel, ces agriculteurs sont les deux seuls dont la succession culturale considérée comprend des prairies temporaires, et uniquement sur leurs parcelles certifiées bio (cf. page 39).

2.2 Pilier 2 – Couverture permanente ou semi-permanente du sol

2.2.1 Résultats des variables relatives au deuxième pilier

Trois variables caractérisent le deuxième pilier – une couverture permanente ou semi-permanente du sol – chez les agriculteurs interrogés (Tableau 5).

Premièrement, la moyenne annuelle de jours couverts sur la période concernée est plus faible sur les parcelles certifiées (ABC) que celles non-certifiées (AC) pour les agriculteurs A, B et C. Cependant, cette moyenne de couverture est plus ou moins égale entre les deux parcelles chez les agriculteurs D et F et est un peu plus faible sur la parcelle AC que la parcelle ABC chez l'agriculteur E.

Deuxièmement, la moyenne de couverture de mai à septembre est plus faible sur les parcelles ABC que les parcelles AC chez les agriculteurs A, B et F et plus ou moins égale chez les agriculteurs restants.

Troisièmement, la proportion de cultures de printemps entre mai et septembre est plus élevée pour les parcelles non-certifiées (AC) chez trois agriculteurs (A, D et E), plus faible chez l'agriculteur C et équivalente ou presque équivalente chez les deux agriculteurs restants (B et F).

Finalement, ces résultats élevés de couverture sont à nuancer avec le choix de la méthode de calcul des variables, discuté par la suite (cf. page 74).

Tableau 5 : Résultats des variables relatives au pilier 2 – une couverture permanente ou semi-permanente du sol - sur les parcelles certifiées bio (ABC) et non-certifiées (AC) des six agriculteurs rencontrés

Agriculteur	Parcelle	Moyenne annuelle de couverture (J couverts/an)	Moyenne de couverture de mai à septembre (J)	% cultures de printemps entre mai et septembre (%)
A	AC	338	150	73
A	ABC	256	134	60
Comparaison AC → ABC		↘	↘	↘
B	AC	345	151	47
B	ABC	253	136	49
Comparaison AC → ABC		↘	↘	± =
C	AC	318	131	68
C	ABC	139	130	93
Comparaison AC → ABC		↘	± =	↗
D	AC	280	139	52
D	ABC	292	142	30
Comparaison AC → ABC		± =	± =	↘
E	AC	312	134	41
E	ABC	332	140	29

Comparaison AC → ABC		↗	± =	↘
F	AC	349	138	0
F	ABC	359	125	0
Comparaison AC → ABC		± =	↘	=

2.2.2 Focus sur la moyenne annuelle de couverture

Sur base des entretiens, la moyenne annuelle de couverture est la variable sélectionnée et approfondie pour ce pilier. En effet, plusieurs agriculteurs ont soulevé une plus grande difficulté à maintenir une couverture permanente du sol à cause de la certification bio.

A partir des résultats de cette variable, les agriculteurs sont classés en trois groupes distincts : (i) ceux pour qui la moyenne de couverture est plus élevée ou plus ou moins semblable sur les deux types de parcelles (D,E,F), (ii) ceux pour qui cette moyenne est plus faible sur les parcelles certifiées (A,B) et (iii) celui pour qui la moyenne de couverture est plus de deux fois plus faible sur la parcelle certifiée (C). Cependant, parmi le premier groupe, une observation peut à nouveau être faite quant à l'effet de la présence de prairies temporaires dans la rotation sur la couverture du sol. En effet, les agriculteurs D et E, sur leur parcelle ABC, ont une couverture plus élevée que sur leur parcelle AC. En revanche, l'agriculteur F réussit à maintenir la couverture du sol presque égale sur les deux parcelles, sans présence de prairie temporaire.

2.3 Pilier 3 – Diversification des cultures

2.3.1 Résultats des variables relatives au pilier 3

Concernant le troisième pilier - la diversification des cultures - il existe une grande diversité entre parcelles et agriculteurs, cultures principales et intercultures (Tableau 6).

Tout d'abord, trois occupations de la parcelle sont possibles : les cultures principales, les intercultures et les prairies temporaires. Dans le tableau ci-dessous, les prairies temporaires sont incluses dans les cultures principales.

Premièrement, la moyenne annuelle d'espèces est très variable d'une parcelle à l'autre, que ce soit pour les cultures principales et les intercultures. Néanmoins, on remarque chez l'agriculteur F une diversification particulière de ses cultures principales pour la parcelle ABC et de ses intercultures pour les deux types de parcelles. Cette diversification est confirmée par une proportion d'associations de cultures élevée. En effet, cet agriculteur réalise des associations céréales-légumineuses ou implante différentes espèces comme sous-semis dans son colza. Par ailleurs, une diversification plus élevée est également observée dans les intercultures pour les deux parcelles de l'agriculteur B et la parcelle AC de l'agriculteur C.

Deuxièmement, la proportion de légumineuses, en comparaison aux autres familles de plantes, est plus ou moins égale ou plus élevée sur les parcelles ABC de tous les agriculteurs.

Troisièmement, la proportion d'associations, dans les cultures principales ou intercultures, par rapport aux monocultures est plus élevée pour les parcelles certifiées (ABC) chez cinq agriculteurs sur les six.

Quatrièmement, la proportion d'intercultures par rapport aux cultures principales, est plus élevée pour les parcelles certifiées (ABC) chez quatre agriculteurs sur six.

Cinquièmement, on remarque que la proportion d'espèces considérées comme « à action négative sur le sol » (pommes de terre, betteraves, maïs, oignons et plantes racines) diminue en ABC en comparaison à l'AC pour les agriculteurs A, B, D et E, augmente pour l'agriculteur C et est égale et nulle pour l'agriculteur F. Il semble nécessaire de rappeler que cette proportion, comme pour les autres variables de ce troisième pilier, ne considère pas la durée d'implantation de l'espèce.

Tableau 6 : Résultats des variables relatives au pilier 3 – diversification des cultures - sur les parcelles certifiées bio (ABC) et non-certifiées (AC) des six agriculteurs rencontrés (sp/an IC : moyenne annuelle d'espèces dans les intercultures, sp/an CP : moyenne annuelle d'espèces dans les cultures principales, % légumineuses IC : proportion de légumineuses dans les intercultures, %légumineuses CP : proportion de légumineuses dans les cultures principales, % IC : proportion d'intercultures)

Agriculteur	Parcelle	sp/an IC	sp/an CP	% légumineuses CP	% légumineuses IC	% associations	% IC	% sp à action négative sur le sol
A	AC	1	1,2	20	25	44	44	22
A	ABC	1,6	1,6	25	38	56	50	13
Comparaison AC → ABC		↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘
B	AC	2,8	1,4	0	33	56	67	11
B	ABC	3,9	1,2	25	54	76	76	6
Comparaison AC → ABC		↗	↘	↗	↗	↗	↗	↘
C	AC	3,5	1,5	40	25	71	71	6
C	ABC	0,6	1,4	40	50	29	29	14
Comparaison AC → ABC		↘	± =	=	↗	↘	↘	↗
D	AC	0,5	1,2	0	0	29	29	29
D	ABC	0,4	1	40	50	33	33	17
Comparaison AC → ABC		± =	↘	↗	↗	± =	± =	↘
E	AC	0,8	1,2	17	0	20	40	10
E	ABC	0,6	1	20	33	43	43	0
Comparaison AC → ABC		↘	↘	± =	↗	↗	± =	↘
F	AC	3	1,7	20	44	79	64	0
F	ABC	2,1	3,8	33	40	100	36	0
Comparaison AC → ABC		↗	↗	↗	± =	↗	↘	=

2.3.2 Focus sur la proportion de légumineuses

Pour ce troisième pilier, la tendance la plus marquée entre agriculteurs concerne la proportion de légumineuses³ plus élevée sur les parcelles certifiées (ABC), que ce soit pour les intercultures ou cultures principales (rassemblées sur le graphique ci-dessous). Cette tendance est confirmée visuellement par les figures ci-dessous, présentant, d'une part, la proportion de légumineuses parmi les espèces des cultures principales ainsi que les intercultures et, d'autre part, la proportion de légumineuses parmi les espèces des cultures principales uniquement

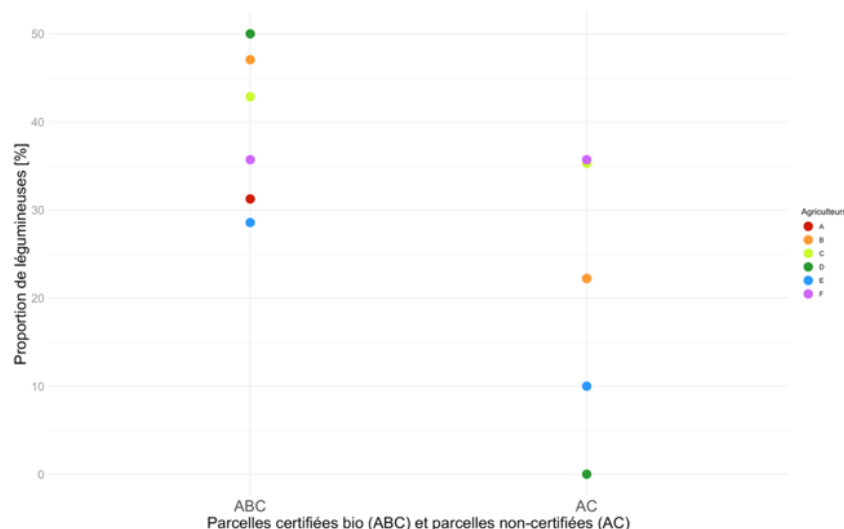


Figure 5 : Comparaison de la proportion de légumineuses, parmi les cultures principales ainsi que les intercultures, sur les parcelles certifiées (ABC) et les parcelles non-certifiées (AC) des agriculteurs rencontrés

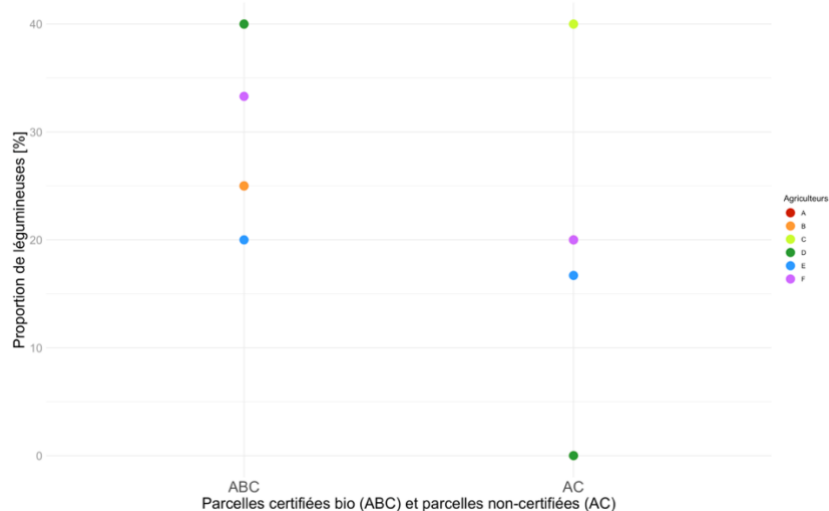


Figure 6 : Comparaison de la proportion de légumineuses, parmi les cultures principales ainsi que les intercultures, sur les parcelles certifiées (ABC) et les parcelles non-certifiées (AC) des agriculteurs rencontrés

³ Plante dicotylédone dont le fruit est une gousse, exploitée comme légume (pois, haricot), fourrage (trèfle, luzerne), pour l'ornement (acacia) ou pour le bois (palissandre). (Larousse, s. d.)

2.4 Pratique additionnelle : fertilisation organique et minérale

2.4.1 Résultats des variables relatives à la fertilisation

Tout d'abord, l'application d'engrais azotés (Tableau 7) est inférieure pour toutes les parcelles ABC que les parcelles AC, sauf chez l'agriculteur A. Des valeurs particulièrement faibles sont atteintes pour les parcelles ABC des agriculteurs D et E, ayant une prairie temporaire de luzerne dans leur succession culturale. En effet, la luzerne, étant une légumineuse, ne demande pas d'intrants azotés. De plus, bien que la proportion d'engrais azotés organiques, en comparaison aux engrais azotés minéraux, est variable selon les agriculteurs sur les parcelles AC, les engrais minéraux semblent dominer pour la majorité.

Concernant les engrais phosphatés (Tableau 8), la tendance est nettement moins marquée entre AC et ABC : tandis que trois agriculteurs sur six épandent plus de phosphore sur leur parcelle ABC, deux sur six en épandent moins et le dernier n'en épand pas du tout, sur ses deux parcelles et sur la période concernée. Il est à noter que la majorité du phosphore est d'origine organique, pour les deux types de parcelles.

Par ailleurs, certains de ces taux d'engrais semblent particulièrement élevés. Dans ce contexte, il est important de rappeler l'hétérogénéité des régions agricoles dans notre échantillonnage, pouvant elles-mêmes impacter ces résultats de fertilisation.

Selon certains experts (Richard Lambert et Marc De Toffoli) ces taux particulièrement élevés pour certaines parcelles AC pourraient s'expliquer de différentes façons. Premièrement, certains agriculteurs n'ont pas une bonne connaissance des teneurs des engrais de ferme ou sur-fertilisent volontairement pour diverses raisons. Deuxièmement, une grande variabilité existe parmi les engrais de ferme et certains agriculteurs connaissent les teneurs exactes des engrais, grâce à des analyses de ceux-ci. De ce fait, la conversion, basée ici sur les valeurs de Protect'eau (cf. page 34), donnerait des valeurs non-exactes. Troisièmement, certains agriculteurs AC accordent une importance majeure au taux de carbone des sols, pouvant finalement provoquer une sur-fertilisation des cultures en engrais organiques (Richard Lambert, Marc De Toffoli, com. pers). Concernant les parcelles ABC, l'importance donnée à la fertilisation en bio dépendra du niveau de productivité que l'agriculteur veut atteindre, très variable d'une ferme à l'autre. En effet, d'une part, les engrais coutent plus chers en bio et, d'autre part, une fertilisation importante impose une série de contraintes, telles qu'une augmentation des risques de verse ou une plus grande sensibilité aux maladies. Finalement, une moins grande importance est donnée aux engrais phosphatés, lorsque les sols sont vivants. (Hugues Falys, com. pers.)

Ensuite, il est important de rappeler que ces données de fertilisation ont été relevées dans certains cas (B,C) sur des successions culturales assez courtes et peut-être non représentatives de l'entièreté de la rotation (soit dû au choix initial de la succession, soit parce

que les données de fertilisation relatives à certaines cultures de la succession n'ont pas été disponibles).

Finalement, il est à noter que trois agriculteurs (D,E,F) sur les six appliquent des produits composés de minéraux et d'oligo-éléments, dont l'objectif est de veiller à l'équilibre minéral et microbien des sols, non pris en considération dans cette analyse.

Tableau 7 : Variables relatives à la fertilisation azotée.

Agriculteur	Parcelle	N total (Unités/ha/an)	N org (Unités/ha/an)	N min (Unités/ha/an)	% N org (VS minéral) (%)
A	AC	145	124	21	86
A	ABC	219	219	0	100
Comparaison AC → ABC		↗	↗	↘	↗
B	AC	335	141	194	42
B	ABC	100	100	0	100
Comparaison AC → ABC		↘	↘	↘	↗
C	AC	240	51	189	21
C	ABC	73	73	0	100
Comparaison AC → ABC		↘	↗	↘	↗
D	AC	218	45	173	21
D	ABC	21	21	0	100
Comparaison AC → ABC		↘		↘	↗
E	AC	144	0	144	0
E	ABC	7	7	0	100
Comparaison AC → ABC		↘	↗	↘	↗
F	AC	157	9	147	6
F	ABC	68	68	0	100
Comparaison AC → ABC		↘	↗	↘	↗

Tableau 8 : Variables relatives à la fertilisation phosphatée.

Agriculteur	Parcelle	P total (Unités/ha/an)	P org (Unités/ha/an)	P min (Unités/ha/an)	% P org (VS minéral) (%)
A	AC	57	57	0	100
A	ABC	146	146	0	100
Comparaison AC → ABC		↗	↗	=	↗
B	AC	102	68	34	67
B	ABC	63	63	0	100
Comparaison AC → ABC		↘	↘	↘	↗
C	AC	18	19	0	100
C	ABC	88	88	0	100
Comparaison AC → ABC		↗	↗	=	↗
D	AC	51	35	16	68
D	ABC	6	6	0	100

Comparaison AC → ABC		↘	↘	↘	↗
E	AC	0	0	0	/
E	ABC	0	0	0	/
Comparaison AC → ABC		=	=	=	↗
F	AC	22	22	0	100
F	ABC	66	66	0	100
Comparaison AC → ABC		↗	↗	=	↗

2.4.2 Focus sur la fertilisation azotée

L'application plus faible d'engrais azotés sur les parcelles certifiées bio (ABC) peut être analysée en parallèle à la proportion supérieure de légumineuses sur les parcelles certifiées, présentée dans la section précédente (cf. page 46). Cette place plus importante donnée aux légumineuses en ABC serait sans doute liée à ce retrait d'intrants chimiques de synthèse, et donc d'engrais minéraux, imposé par la certification. En effet, d'une part, la présence de légumineuses permet de ne pas fertiliser la culture et, d'autre part, elle diminue la nécessité de fertilisation pour la culture suivante. Les figures ci-dessous représentent cette corrélation entre engrais azotés et proportion de légumineuses, parmi les cultures principales et intercultures (Figure 7) et cultures principales uniquement (Figure 8). Sur base de ces figures, on voit que la tendance est similaire que ce soit en considérant uniquement la proportion dans les cultures principales ou toutes cultures confondues

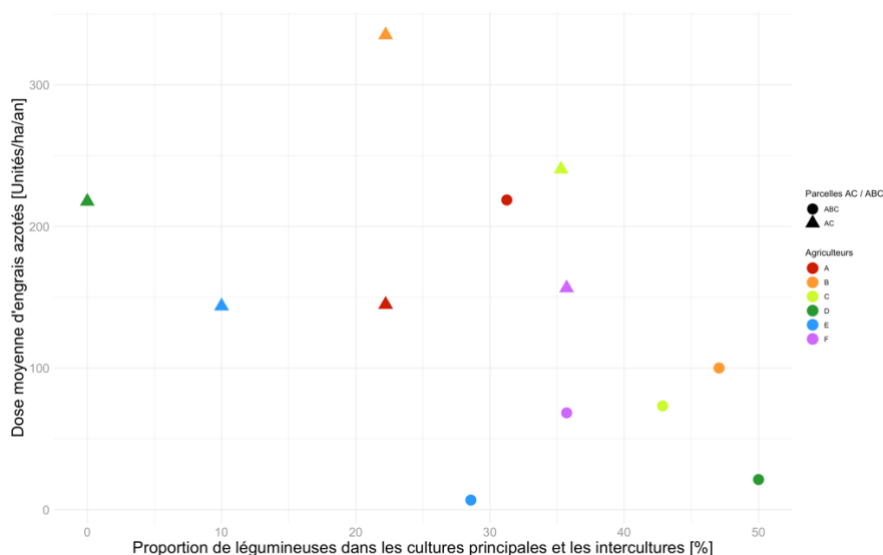


Figure 7 : Dose moyenne annuelle d'engrais azotés en fonction de la proportion de légumineuses parmi les espèces des cultures principales et intercultures

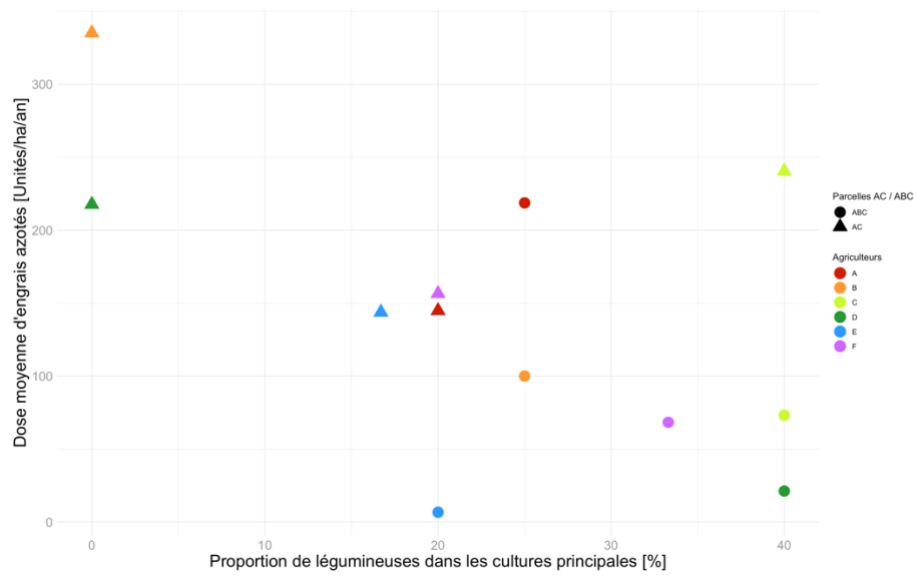


Figure 8 : Dose moyenne annuelle d'engrais azotés en fonction de la proportion de légumineuses parmi les espèces des cultures principales

3 Influence de la certification bio sur la structure du sol

En parallèle aux entretiens semi-dirigés, la mesure en champ USDA a été réalisée. Ce chapitre a pour objectif de mesurer, via cette méthode, les effets des modèles AC et ABC, décrits dans la section précédente, sur la structure du sol. Pour rappel, la structure du sol est un bon indicateur des capacités de conservation des sols et, ainsi, un bon proxy des stratégies d'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques.

3.1 Résultats de la mesure USDA

Les moyennes des résultats des mesures des différents échantillons par parcelle sont résumées dans le tableau ci-dessous (Tableau 9). On peut observer une grande variabilité entre agriculteurs. Pour rappel, les résultats de la mesure USDA varient de 1 à 8, d'une mauvaise à une bonne structure du sol (cf. page 31).

Selon USDA, la structure du sol est moins bonne sur les parcelles certifiées bio (ABC) que sur celles non-certifiées (AC) chez les agriculteurs B et C, est meilleure sur les parcelles certifiées chez les agriculteurs D et E et est plus ou moins semblable chez les agriculteurs A et F.

Tableau 9 : Moyenne des résultats de la mesure en champ USDA par parcelle certifiées bio (ABC) et non-certifiées (AC).

Agriculteur	Parcelle	Succession culturale*	USDA
A	AC	CH,I,B,H,I,Pdt,CH	5,1
A	ABC	CH,I,P,E,Pdt,CH/P,I, O, CH	5
Comparaison AC → ABC			±=
B	AC	I,CH,I,Pdt, CH	4,3
B	ABC	I,CH,I,Pdt, P,I,CH	3,4
Comparaison AC → ABC			↘
C	AC	H,CH,I,P,I, Pdt,CH	5,3
C	ABC	Q,H,Pdt,P, I,CH	3,8
Comparaison AC → ABC			↘
D	AC	CP,CH,I,B, Pdt,CH	4,5
D	ABC	PT,M,P,I, CH	6,6
Comparaison AC → ABC			↗
E	AC	I,CP,CH,CH, I, M,CH, CH	6,4
E	ABC	PT,CP,CP/CP/P,CH,CH/P	8
Comparaison AC → ABC			↗
F	AC	CH,I,CH, C/I,I,CH/I	6,8
F	ABC	CH,I,CH/P, CP/I,CP/L	6,5
Comparaison AC → ABC			±=

*Légende : Céréales d'hiver : CH, Céréales de printemps : CP, Colza : C, Intercultures ou sous-semis : I, Betterave : B, Haricots : H, Pomme de terre : Pdt ; Pois : P, Epinards : E, Oignons : O, Quinoa : Q, Prairie temporaire : PT, Féveroles : F, Lentille : L, Maïs : M. Associations : « / », Succession : « », ».

3.2 Traitements statistiques des résultats

Comme vu dans la méthodologie du mémoire et contrairement aux données de la section précédente, celles-ci ont pu être soumises à des tests d'hypothèses. Ainsi, les résultats de USDA ont été traités via une analyse statistique, basée sur le modèle mixte.

Cette analyse statistique montre que les effets liés à la certification bio ne sont pas significatifs (Tableau 10).

Un traitement statistique des résultats de la mesure USDA ne permet donc pas de démontrer un effet de la certification bio sur la structure du sol. Il est important d'ajouter que la normalité n'est pas tout à fait satisfaite dans ces modèles.

Tableau 10 : Résultat du test F (Prob. > F) du modèle mixte utilisant le facteur fixe (AC/ABC) pour expliquer les scores de la méthode USDA.

Tests des effets fixes	Degré de liberté du numérateur	Degré de liberté du dénominateur	Rapport F	Prob. > F
AC / ABC	1	113	0,5846	0,4461

4 Croisement entre variables et mesure de terrain

4.1 Prise de recul vis-à-vis de l'effet non-significatif des modèles sur la structure du sol

Au vu de la diversité de conditions de chaque agriculteur mise en évidence dans la section 1, la non-significativité de l'effet du modèle sur la structure du sol (cf. page 51) pourrait s'expliquer par l'interférence de facteurs externes, tels que le choix des cultures implantées sur les différentes parcelles. Cette hypothèse est d'ailleurs renforcée par l'extrait ci-dessous, concernant la machine de récolte de betterave.

« Alors si vous voulez savoir ce qui me détruit le plus ma structure en conventionnel, c'est la machine de récolte en betterave, c'est une machine "ropa" et pour moi c'est le gros point négatif de différence d'itinéraire, enfin pour moi au niveau de ma structure, c'est le gros point noir pour le moment. » (A)

Jusqu'ici, nous avons d'abord présenté les conditions de chaque agriculteur et leurs parcelles (Section 1). Nous avons ensuite comparé les modèles AC et ABC sur base de leur effet sur les variables des trois piliers et des deux pratiques additionnelles de l'AC (Section 2). Suite à cela, nous avons analysé si ces modèles, tels que pratiqués sur les parcelles sélectionnées des six agriculteurs interrogés, influencent la structure du sol (Section 3). Cette section a maintenant pour objectif de croiser les résultats des sections précédentes et d'analyser quelles sont les variables qui influencent les résultats de la mesure en champ et donc la structure du sol.

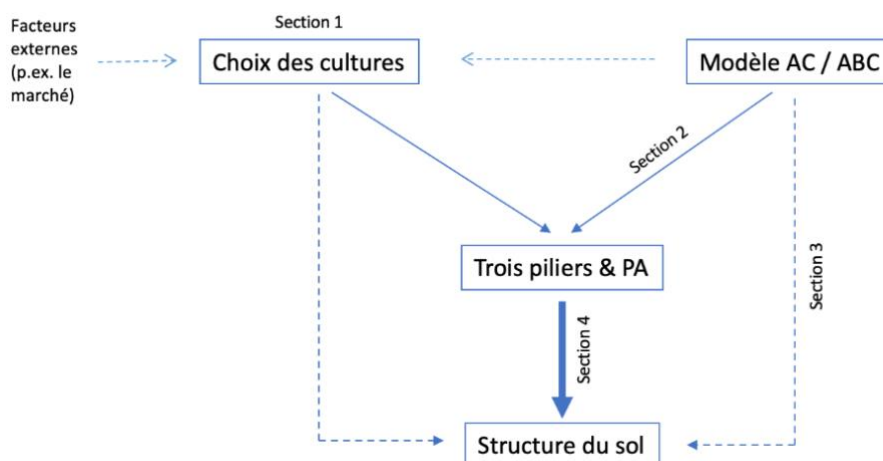


Figure 9 : Vue systémique des facteurs relatifs aux choix des agriculteurs, influençant la structure du sol.

4.2 Lien entre variables et résultats d'USDA

De la même façon que dans la deuxième section (cf. page 40), une analyse statistique basée sur des tests d'hypothèses n'a pas été possible pour déterminer les variables qui influencent le plus les résultats des mesures, et ce, à cause de la taille réduite de la population. C'est pourquoi cette sélection de variables s'est basée sur une « analyse en composantes

principales » (ACP), permettant une visualisation graphique des liens entre les variables, auxquelles USDA a été incluse (cf. Annexe 6). Selon l'ACP, les variables suivantes semblent être liées aux valeurs d'USDA : travail du sol pondéré, engrais organiques azotés et phosphatés.

Via cette démarche, une forte corrélation négative entre USDA et la moyenne des opérations de travail du sol, pondérées à leur action, a été relevée (Figure 10). Cette corrélation signifie que la structure du sol diminue avec une augmentation du travail du sol. La corrélation (négative) entre les engrais organiques et USDA n'est pas analysée ci-dessous et les graphiques de ces relations sont renvoyés en annexe (Annexe 7).

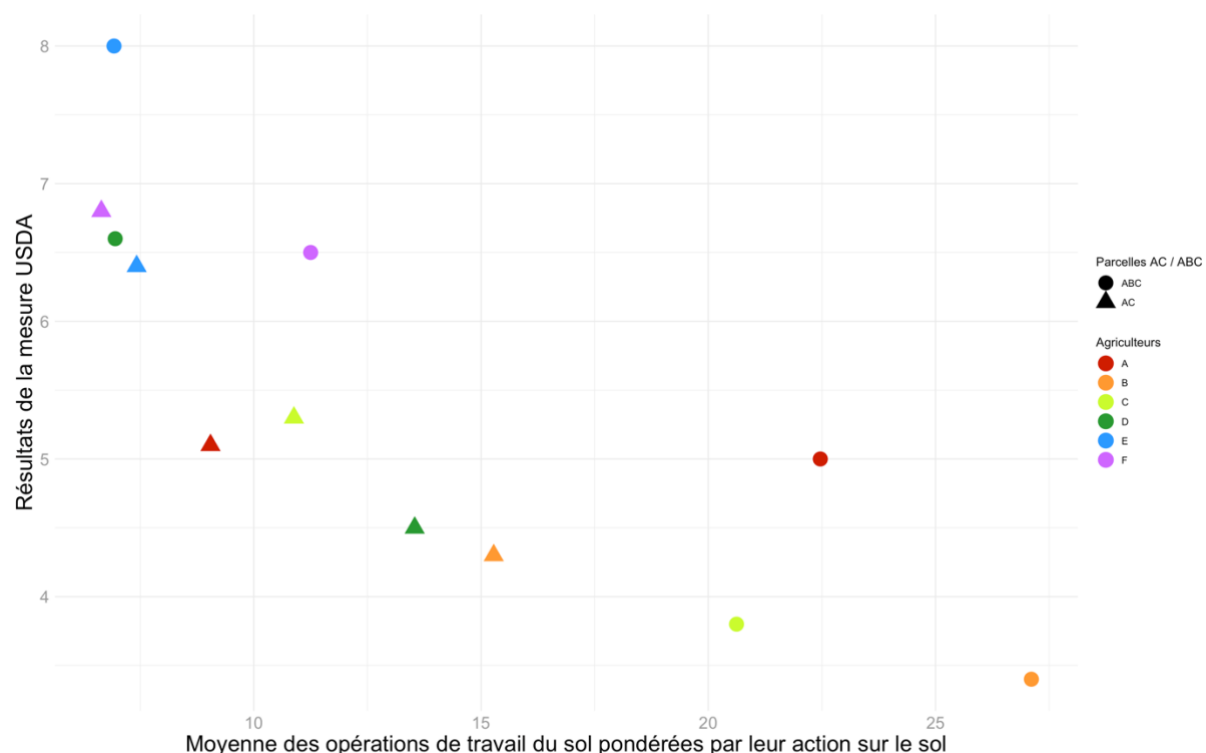


Figure 10 : Relation entre les résultats de USDA et la moyenne des opérations de travail du sol pondérées par leur action sur le sol.

Par ailleurs, pour une prise en compte de l'influence de la succession culturale sur la structure du sol, la proportion d'espèces à action négative sur le sol (betteraves, pommes de terre, maïs, oignons et plantes racines) relative à chaque parcelle est une variable particulièrement intéressante à lier avec les résultats de USDA (Figure 11).

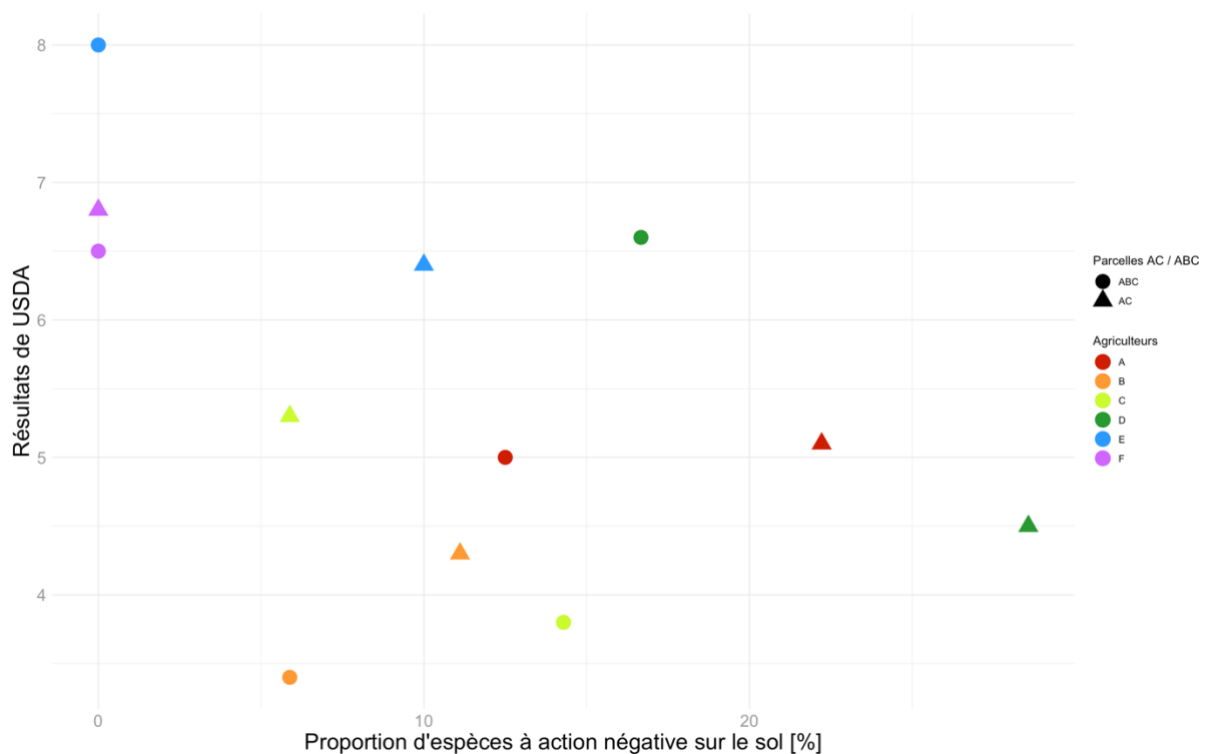


Figure 11 : Relation entre les résultats USDA et la proportion d'espèces à action négative sur le sol dans la succession culturale considérée

Sur base des deux figures ci-dessus, relatives au premier et troisième pilier, il est possible de dégager certaines tendances chez les agriculteurs concernés.

Chez trois agriculteurs (A,B et C) sur les six concernés, l'adoption de la certification a augmenté considérablement le travail du sol, diminuant en parallèle la structure du sol. Cet effet du travail du sol serait, en partie, compensé pour les agriculteurs A et B par un choix de cultures à action moins défavorable sur le sol que sur les parcelles non-certifiées. Par ailleurs, l'autre moitié d'agriculteurs arrive à maintenir un travail du sol faible grâce notamment à un choix de cultures peu néfastes pour le sol. D'une part, les agriculteurs D et E ont une prairie temporaire dans la succession culturale de leur parcelle non-certifiée. Cependant, une hypothèse serait que la destruction de ces prairies temporaires augmenterait considérablement le travail du sol, avec en parallèle une dégradation de la structure du sol. D'autre part, l'agriculteur F semble maintenir un travail du sol réduit via notamment l'implantation de cultures à effets positifs sur le sol.

5 Deux stratégies différentes d'adoption de la certification bio en AC

La section précédente a tout d'abord permis de relever le lien important entre le travail du sol et la diminution de la structure du sol. L'interférence du choix de la culture a ensuite été intégré dans l'analyse, permettant d'observer différentes catégories relatives aux choix des agriculteurs. A partir de la figure ci-dessous (Figure 12), comparant les deux piliers fondateurs de l'AC (le travail du sol et la couverture du sol), on constate deux groupes de parcelles ABC, s'apparentant aux stratégies « ABC substitution mécanique » et « ABC reconception » (M. Ferdinand et al., 2019).

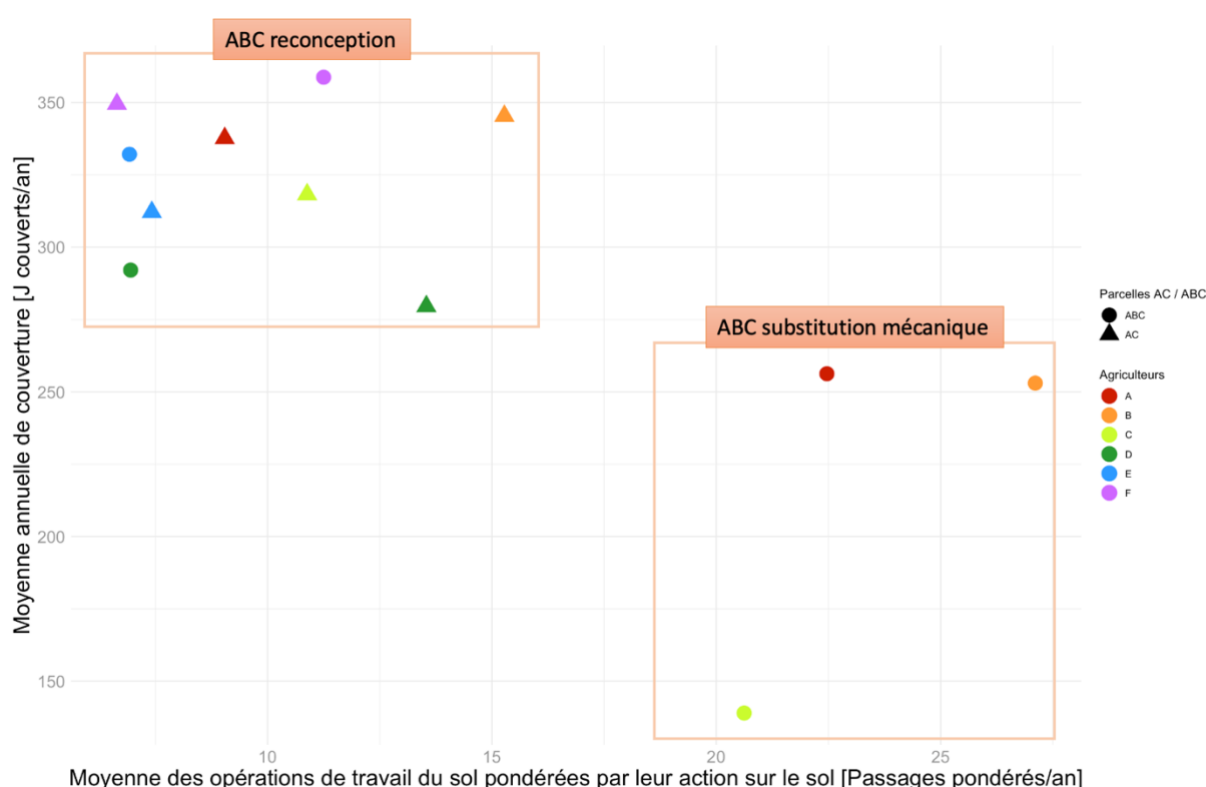


Figure 12 : Moyenne annuelle de couverture en fonction de la moyenne des opérations de travail du sol pondérées

5.1 ABC substitution mécanique

Sur la droite du graphique, se trouvent les trois parcelles dont le travail du sol est le plus élevé et la couverture du sol est la plus faible. Il est à noter que ces trois parcelles sont des parcelles certifiées bio (ABC). Ce premier groupe d'agriculteurs (A, B et C) s'apparente à la stratégie « ABC substitution mécanique », c'est-à-dire la compensation de l'usage des herbicides par un travail plus intense du sol, mise en avant par Ferdinand et al. (2019) (cf. page 18), étant donné que leur moyenne des opérations de travail du sol pondérées est plus élevée sur leurs parcelles ABC qu'AC. Cette substitution mécanique joue donc sur le premier pilier de l'AC, impliquant en parallèle une diminution de la couverture du sol, en comparaison à leurs

parcelles AC respectives. Ces agriculteurs ont par ailleurs chacun évoqué au cours des entretiens ce problème de travail du sol augmenté lors du passage vers le bio.

Dans ce premier groupe, l'agriculteur C semble s'éloigner des deux autres, au vu de sa moyenne de couverture particulièrement faible sur sa parcelle ABC. Cet agriculteur sera par ailleurs nommé « Bio économique » dans la section suivante, étant donné que, d'une part, il songe à convertir l'entièreté de ses parcelles en bio et, d'autre part, ses motivations à se convertir en bio étaient principalement économiques (cf. page 59). Cet agriculteur serait ainsi celui qui s'éloigne le plus du modèle AC, du fait de son identité et de ses pratiques. Par ailleurs, au vu de sa structure du sol en bio plus faible qu'en AC, une hypothèse concernant sa conversion totale vers le bio est que sa structure risque de se dégrader lors d'une certification des parcelles actuellement non-certifiées.

5.2 ABC reconception

Le groupe se situant en haut à gauche du graphique représente les parcelles sur lesquelles les agriculteurs réussissent à maintenir une couverture du sol relativement élevée ainsi qu'un travail du sol relativement faible. Trois parcelles ABC se situent dans ce groupe (agriculteurs D, E, F) et s'apparentent plutôt à la stratégie « ABC reconception » car ces agriculteurs ont accompagné le passage en bio d'un changement de choix de cultures.

Tout d'abord, les parcelles ABC des agriculteurs D et E ont une prairie permanente dans la succession culturale concernée permettant de jouer en parallèle sur le premier et deuxième pilier, lors de l'acquisition de la certification bio. Il est cependant à noter que ces agriculteurs ont tous les deux évoqué une augmentation du travail du sol en bio lors des entretiens. Ainsi, une hypothèse à cette analyse serait que l'intégration de prairies permanentes soit une stratégie pour garder une relation élevée à l'AC, malgré l'acquisition de la certification bio. En outre, l'objectif premier de l'implantation de luzerne chez l'agriculteur E était de désherber après une location de la terre pour des pommes de terre, ayant été mal travaillée. Cependant, cet agriculteur ne compte, à priori, plus employer cette stratégie pour deux raisons principales. Premièrement, la non-présence de bétail sur l'exploitation implique la nécessité de revente, ce qui complique le processus. Deuxièmement, les racines très profondes de la luzerne auraient abîmé les drains du sol. Par ailleurs, ces deux agriculteurs D et E présentent une caractéristique commune supplémentaire : l'importance donnée à l'équilibre minéral dans les sols. L'application de certains fertilisants alternatifs aurait un effet bénéfique sur la structure et la vie du sol, permettant en parallèle de faciliter un passage vers le non-labour.

(...) dans les conclusions que le voisin a fait à Gembloux, c'est que l'utilisation des produits TMCE va permettre plus facilement de passer en non-labour.”(E)

« TMS, c'est un produit qui amène, heu, qui grâce à ça refait la structure du sol et la faune et la flore » (D)

En revanche, l'agriculteur F, nommé « *Bio environnement* » dans la section suivante (cf. page 59) a réussi à maintenir une couverture élevée ainsi qu'un travail du sol faible lors de son passage au bio, sans présence de prairie permanente dans sa succession culturale. En supplément à son choix de cultures peu impactant sur la structure du sol, ce dernier est attentif à la couverture du sol via notamment l'implantation très rapide de couverts, et joue également sur le troisième pilier par les associations de cultures. Pour rappel, les résultats ont mis en évidence une diversification particulière des couverts mais également des cultures principales chez cet agriculteur (cf. page 44). Par ailleurs, cet agriculteur semble rejoindre les agriculteurs D et E concernant l'importance majeure accordée aux équilibres des sols, via un équilibre en éléments minéraux ainsi qu'au développement des microorganismes, tels que les bactéries et champignons. Par ailleurs, il utilise également des techniques de type « thé de compost » pour promouvoir le développement des microorganismes du sol.

“Si c'est pour être en bio et passer des coups de herse et tout ça pour faire des faux semis, on n'y arrivera jamais, si c'est en conventionnel, enfin, en non-labour sans réduction de chimie, ça ne servira à rien non plus parce qu'on n'avance pas, et voilà, avec les thés de compost et cet ensemencement de bactéries, j'ai l'impression - mais évidemment je n'ai pas assez de recul - mais, que ça va plus vite par rapport à mes presque 20 ans de non-labour.” (F)

Finalement, cet agriculteur songe à reprendre un peu d'élevage pour faciliter sa construction d'une ABC (cf. page 60).

6 Vision de l'avenir de l'exploitation des agriculteurs interrogés

Durant les entretiens, les agriculteurs ont évoqué leur vision de l'avenir de l'exploitation. Celle-ci comprend l'évolution de la superficie certifiée bio sur l'exploitation ainsi que l'évolution des pratiques de l'ABC. Ces deux points permettent de répondre aux questions suivantes : Est-ce que la superficie des parcelles certifiées bio va augmenter, diminuer ou rester constante sur l'exploitation ? Est-ce que l'ABC pratiquée actuellement va encore évoluer ?

Avant de répondre à ces deux questions, il est important de rappeler que les six agriculteurs rencontrés ont une expérience en AC supérieure à l'expérience en ABC. En d'autres mots, chacun a adopté la certification bio après avoir adhéré aux pratiques de l'AC.

Tableau 11 : Relation des six agriculteurs à l'AC et à l'ABC.

Agriculteurs	Expérience AC (années)	Expérience ABC (années)	Proportion de la surface certifiée bio sur l'exploitation (%)	Évolution de la superficie certifiée bio ?	Évolution des pratiques de l'ABC ?
A	20	13	24	Constante	Non
B	15	5	50	Constante	Oui
C	20	5	70	En augmentation	Oui
D	20	9	24	Constante	Oui
E	23	6	20	Constante	Oui
F	18	3	40	En augmentation	Oui

6.1 Évolution de la superficie certifiée bio

Chez quatre agriculteurs sur les six interrogés, l'évolution de la superficie certifiée bio au niveau de l'exploitation est considérée comme constante (Tableau 11). Cela signifie que ces agriculteurs ne songent pas, a priori, à convertir plus de parcelles en bio.

Les raisons à cela sont variables d'un agriculteur à l'autre. Cependant la principale concerne l'augmentation du temps de travail en bio, liée dans certains cas à la présence d'une activité professionnelle complémentaire, rendant difficilement gérable une conversion de plus de surfaces.

Chez les deux agriculteurs restants (C et F), une conversion complète, ou presque, de l'exploitation est l'objectif à long terme. Cependant, ces deux agriculteurs se distinguent quant à leur motivation initiale majeure à acquérir la certification bio. La motivation principale de l'agriculteur C à acquérir la certification était économique, tandis que pour l'agriculteur F, la motivation principale était environnementale. Ainsi, dans la suite de ce mémoire, ces deux agriculteurs seront respectivement nommés « *Bio économique* » et « *Bio environnement* ».

6.2 Évolution des pratiques de l'ABC

Cinq agriculteurs sur six songent à améliorer leurs pratiques sur les parcelles certifiées (Tableau 11) et maîtriser d'avantage l'ABC. Certains ont évoqué la nécessité de faire converger d'avantage les deux systèmes agricoles, l'AB et l'ABC, en s'inspirant des bonnes pratiques des deux côtés.

« Je trouve qu'il y a du bon des deux côtés (en AC et en ABC). Et ça vaut la peine de chercher les bonnes manières de faire des 2 côtés et de s'inspirer des bonnes manières des 2 côtés aussi. » (B)

De plus, un de ces cinq agriculteurs (F) songe à reprendre l'élevage pour sa complémentarité avec le bio. En effet, selon lui, l'élevage permettrait le pâturage des couverts, l'ensilage de cultures ratées, une source de fertilisation organique, et finalement les bactéries de la panse des bêtes seraient un atout pour les processus d'humification des sols.

« Mais j'ai dans l'idée d'en reprendre un petit peu [l'élevage] parce que pour le bio, quand on loupe une culture, pour pouvoir ensiler cette culture-là, pour pouvoir faire pâturer les bêtes dans les couverts et tout ça, donc le but serait de reprendre quelques bovins pour pouvoir jouer sur ces tableaux-là, et avoir pour une fertilisation organique aussi. » (F)

Le sixième agriculteur (A) n'a pas l'intention de faire évoluer ses pratiques pour deux raisons principales.

Premièrement, le secteur agricole est en crise et la prise de risque via un changement de pratiques ou un changement d'orientation est, selon lui, trop grande.

« Je pense que maintenant on est tellement en crise dans l'agriculture qu'il ne faut pas bouger, il ne faut toucher à rien, il faut rester, il faut attendre. » (A)

Deuxièmement, cet agriculteur se considère déjà très diversifié à l'échelle de son exploitation. Il estime que les essais au niveau de son exploitation ont été faits par le passé et il ressent aujourd'hui une nécessité de se simplifier la vie.

« Je sais très bien où va mon fumier (importé), où vont mes écumes, ce que je vais semer, quel itinéraire. Je vais dire, les essais je les ai faits par le passé, maintenant je sais ce qui marche, ce qui ne marche pas, ce qui va sur mon sol, ce qui ne va pas sur mon sol et voilà, je ne veux pas trop me compliquer la vie et je veux que ça soit plus ou moins simple. » (A)

7 Motivations et freins à l'adoption de la certification bio en AC

7.1 ABC : Motivations à l'adoption de la certification bio en AC

Lors des entretiens semi-dirigés, les motivations principales des agriculteurs à avoir la certification bio en AC ont été relevées. Celles-ci sont classées en trois grandes catégories : économiques, personnelles ou environnementales (Tableau 12). Pour rappel, les six agriculteurs ont décidé d'adopter la certification bio après avoir adhéré aux pratiques de l'AC.

Tableau 12 : Motivations des agriculteurs à l'adoption de la certification bio en AC

Catégories	Motivations
Économiques	Prix plus rémunérateurs (A,C,D,E)
	Meilleure valorisation du produit (E,F)
	Demande plus élevée (A,C)
Personnelles	Challenge agronomique (B,C,E)
	Envie d'innovation (B)
Environnementales	Meilleur impact sur l'environnement en évitant la chimie (E,F)

7.1.1 Motivations économiques

La première catégorie de motivations est de type économique et a été la catégorie la plus fréquemment relevée par les agriculteurs interrogés, explicitement citée par cinq agriculteurs sur six.

Tout d'abord, des prix plus rémunérateurs en bio est une motivation importante, citée par la majorité des agriculteurs interrogés.

« Voilà, en bio, on nous demande des choses, on va tout le temps vérifier que c'est fait correctement, et si c'est le cas, les prix sont quand-même plus rémunérateurs et donc on est mieux récompensés. » (C)

En parallèle à ces prix plus rémunérateurs, une motivation économique supplémentaire est une meilleure valorisation du produit, citée par deux agriculteurs.

« En étant en conventionnel, en réduction des phytos, en soignant... ça m'embêtait de livrer mes produits dans le même silo de stockage que ceux qui font des produits qui pour moi sont moins bons, et je voulais valoriser ça d'une meilleure façon (...) » (F)

Troisièmement, une demande plus élevée en bio a également été une motivation à l'acquisition de la certification bio.

A la base, c'est surtout la demande qu'il y avait, qu'on vienne frapper à votre porte pour vous demander de produire quelque chose, c'est quand-même plus agréable qu'en conventionnel où 9 fois sur 10, il faut pleurer pour qu'on vous achète des produits (...). (C)

7.1.2 Motivations personnelles

Une autre motivation, citée par trois agriculteurs sur les six interrogés, concerne le challenge agronomique qu'est de produire sans intrants de synthèse. Cette motivation est classée dans la catégorie « motivations personnelles ».

« (...) il y avait aussi le challenge agronomique, moi c'est quelque chose qui, je me souviens toujours, (...) la première fois que j'ai eu mes premières pommes de terre bio dans les mains, je me suis dit "ça c'est le truc qui est totalement irréalisable". Enfin, moi, j'ai toujours connu la pomme de terre qui était pulvérisée énormément etc. C'était le truc totalement inconcevable pour moi c'était de faire une PDT bio, j'avais un blocage sur ça mais quand je les ai vues les premières dans mes mains, je me suis dit "oui on y arrive, c'est faisable !" » (A)

En parallèle à ce challenge agronomique, une envie d'innovation a été une autre motivation personnelle citée.

« Pourquoi... parce que je m'y connaissais pas mal (en bio), et que je voulais essayer d'autres méthodes culturales... » (B)

7.1.3 Motivations environnementales

La troisième catégorie de motivations, explicitement citée par seulement deux agriculteurs, est environnementale : avoir un impact sur l'environnement plus faible en évitant la chimie.

« (...) la mécanique, elle est nocive, mais si elle est raisonnée, elle est moins nocive pour l'environnement que la chimie. » (F)

7.2 ABC : Freins à la certification bio en AC et leurs leviers

Lors des entretiens, les agriculteurs ont évoqué une série de freins qu'ils percevaient à la certification bio en AC. La plupart de ces freins rejoignent les verrouillages identifiés par Ferdinand et al. (2019) pour une AC sans glyphosate en Wallonie.

Par ailleurs, les stratégies abordées par les agriculteurs interrogés pour surmonter ces freins ont été également recensées et sont appelées « leviers » par la suite.

Chacun des freins et leurs leviers ont été classés en catégories, de la même façon que les motivations abordées ci-dessus, et étudiés conjointement (Tableau 13).

Tableau 13 : Freins et leviers, recensés par catégories, à la certification bio en AC. Les leviers écrits en italique correspondent à ceux cités mais non mis en place sur l'exploitation.

Catégories	Freins	Leviers
De gestion	Gestion compliquée du désherbage (E,F,A,C,D)	- Nombre de passages plus élevé - Non-exclusion totale de la charrue - Désherbage manuel - Suivi régulier pour intervenir au bon moment - Association des cultures - Installation rapide d'une couverture - Éviter les carences et excès en éléments nutritifs du sol - <i>Intégration de pauses fourragères, facilitée via l'élevage</i>
	Charge administrative élevée (C,A)	- Caractère courageux et motivé
	Temps de travail élevé (A,C,E,F)	- Maintien d'une partie des terres non-certifiées
	Difficulté d'association avec une activité complémentaire (E,F)	- Choix de cultures moins exigeantes - Motivation dû au jeune âge de l'agriculteur - <i>Augmentation de la main d'œuvre</i> - <i>Arrêt de l'activité complémentaire</i>
	Dépendance aux conditions pédologiques et climatiques (B,E,F,D,A)	- Non-exclusion totale de la charrue - Irrigation
	Gestion compliquée de l'azote (F,A,E)	- Hachage des pailles - <i>Intégration de l'élevage</i>
	Difficulté du semis direct (C,F)	- Engrais vert bien développé
Économique	Perte de rendement (F,E)	- Remplacement rapide de cultures si nécessaire
	Exportations limitées et marché saturé (C,A)	/
	Coûts de production élevés (A,C,F)	- Augmentation du prix des produits
	Concurrence avec les importations (A)	/

Technique	Spécification du matériel (B,C,E)	- Achat de matériel - Emprunt de matériel
	Exigence du labour dans certains contrats bio (C)	/
Environnemental	Fragilité de la structure du sol (E,A)	- Choix de cultures moins exigeantes
	Sensibilité à l'érosion (E)	
Personnels	Aversion aux risques (B,D,F)	- Possession d'une grande surface
	Désherbage manuel en légumes physiquement difficile (A)	/

7.2.1 Freins de gestion

7.2.1.1 Gestion compliquée du désherbage

Le frein majeur à la certification bio en AC, selon les agriculteurs rencontrés, concerne la gestion du désherbage.

« (...) le gros problème du bio c'est le désherbage, pas vraiment les engrais, ni les fongicides et tout ça, c'est surtout le désherbage » (E)

De nombreux leviers ont été soulevés pour aider dans cette gestion du désherbage.

Le premier, relevé par la majorité des agriculteurs rencontrés, est une **augmentation du nombre de passages**. Ce levier a déjà été abordé précédemment et constitue d'ailleurs une des deux voies de transition vers une agriculture de conservation sans glyphosate proposées par Ferdinand et al. (2019).

« Prenez l'exemple des haricots : les haricots en conventionnel, je roule l'engrais vert au mois de janvier, l'engrais vert se décompose par terre tout le printemps, je fais un Roundup 10 jours avant de semer, le jour du semis, on prépare le sol et on sème et c'est tout. En bio, on est passé 10 fois, ça c'est dommage mais aujourd'hui, je n'y vois pas d'alternatives. » (C)

En parallèle à ce nombre de passages plus élevé, certains agriculteurs ont soulevé la nécessité occasionnelle du retour de la **charrue** pour la gestion des adventices en bio. Ce levier, contraire au premier pilier de l'AC, semble pour certains indispensable à certaines occasions.

« (...) mais nous, ça fait 15 ou 20 ans qu'on n'a pas labouré les champs et ça fait 2 années que je vais chercher une charrue chez un voisin, qui rigole et dis 'tu vois, t'en as besoin' ça ne m'amuse pas du tout mais voilà... » (C)

L'association des cultures est une autre méthode citée pour lutter contre les adventices. En effet, jouer sur le troisième pilier, via une diversification des cultures, permet de limiter les adventices, en augmentant notamment la compétition entre plantes et la diversité d'exigences de gestion (MacLaren et al., 2021).

« Après, pour le désherbage, on essaie de jouer sur l'association des cultures. » (F)

L'implantation rapide d'un couvert végétal dense permet également de lutter contre les adventices, en diminuant en parallèle le travail du sol. En effet, le développement des adventices serait limité par compétition pour l'espace et la lumière, lors de l'implantation de couverts végétaux (M. Ferdinand et al., 2019).

« (...) c'est un peu l'expérience qu'on a eu en bio : avant on passait plus de temps à déchaumer, redéchaumer redéchaumer... mais ce qui compte - en tout cas c'est l'expérience qu'on a, c'est pas transposable peut-être à tout le monde - mais ce qu'il faut c'est avoir toujours une couverture le plus longtemps possible et donc déchaumer et redéchaumer et redéchaumer... pour essayer de désherber, la nature elle a horreur du vide donc elle viendra toujours combler d'une façon ou d'une autre... » (E)

Ensuite, **éviter les carences et excès du sol** est un autre levier cité. Les déséquilibres du sol seraient un facteur encourageant le développement des adventices. Ainsi, veiller au bon équilibre des sols, ainsi que veiller à une fertilisation modérée d'azote, serait une aide dans la gestion du désherbage.

« J'ai suivi une formation en 2018, où ils expliquent que... en fait la logique de rémanence des mauvaises herbes, c'est à chaque fois une impulsion du sol dû à un déséquilibre; soit une carence, soit un excès et le but c'est d'essayer d'avoir, de ne pas avoir ces déséquilibres-là parce que pourquoi il y a des parcelles qui se salissent beaucoup plus et d'autres pas, donc on essaie de travailler là-dessus : on fait un thé de compost, on fait des ferments maintenant et on essaie de voir un petit peu comment est-ce que ça évolue. Mais après, comme elles ne sont pas gavées d'azote, elles sont beaucoup moins envahissantes, donc finalement, ce n'est pas si contraignant que ça, une fois que la culture est bien démarrée, elle est réussie. » (F)

Un dernier levier abordé par certains agriculteurs pour la gestion du désherbage concerne l'insertion de **pauses fourragères**, facilitée avec l'intégration de l'élevage. Cependant, aucun agriculteur rencontré n'a actuellement du bétail sur l'exploitation.

« Le bio était surtout intéressant chez les éleveurs, puisque le gros problème du bio c'est le désherbage, (...) et les éleveurs, vu qu'ils font une rotation avec les prairies, le fait de faucher régulièrement, bah tout ce qui est contraignant, à savoir rumex chardon etc., bah le fait de faucher, c'est plus facile à gérer... » (E)

7.2.1.2 Charge administrative élevée

Étant donné que les contrôles en bio sont plus élevés, la charge administrative est conséquente. Cela demande donc une certaine rigueur et motivation.

En bio on doit être très rigoureux car tout est contrôlé, ils font le tour de toutes les factures, oui donc vous avez acheté 52 kg de tel produit puis on fait le tour de votre fiche, vous en avez utilisé 51, on va vous demander où il est le kg qui reste. Oui quand mon père voit ça maintenant, il dit "ouf moi je ne saurais jamais faire ça hein". Pour ça le bio il faut être courageux, c'est énormément d'administratif ». (A)

7.2.1.3 Temps de travail élevé

Tandis qu'une baisse du temps de travail est un facteur d'adoption à l'AC (Braibant & Morelle, 2018), ce temps de travail est cette fois-ci considéré comme un frein. En effet, il augmente en bio, principalement à cause de la gestion compliquée du désherbage. Ainsi, un suivi régulier et un nombre de passages plus élevé, considérés comme des leviers ci-dessus, constituent également un frein à l'adoption de la certification bio.

« (...) ça demande plus de temps et de suivi. Cultiver 50 ha en bio, ça demande plus de temps que 200 ha en conventionnel. » (C)

7.2.1.4 Association difficile avec une activité complémentaire

L'augmentation du temps de travail en bio affecte, en parallèle, négativement le développement ou la présence d'une activité complémentaire.

Plusieurs leviers ont été évoqués pour s'adapter ou lutter contre ce temps de travail élevé (point 4.2.1.3) et la difficulté d'association à une activité complémentaire.

Tout d'abord, un travail sur des surfaces plus faibles ou une non-conversion de l'entièreté des surfaces de l'exploitation permet de réguler ce temps de travail.

Ensuite, certaines cultures demandent un temps de travail plus élevé que d'autres. Ainsi, choisir des cultures peu exigeantes, telles que des céréales, permet d'alléger ce temps de travail.

« Donc ça demande énormément de suivi et de réactivité. Et sur des plus grandes surfaces, c'est pas gérable. Mais ça dépend, si tu mets des céréales, là, c'est plus facile à suivre. Mais tous les légumes, il faut faire attention. » (C)

Certains agriculteurs ont relevé le fait que leur jeune âge les aide à trouver la motivation d'investir le temps et l'énergie nécessaire pour produire bio. Ceci n'est pas étonnant en sachant que les agriculteurs proches de la retraite sont généralement les moins enclins à changer de système (Braibant & Morelle, 2018).

Par ailleurs, deux leviers proposés mais pas encore adoptés concernent une augmentation de la main d'œuvre et un arrêt de l'activité complémentaire.

7.2.1.5 Dépendance aux conditions pédologiques et climatiques

L'adoption de la certification bio en AC est plus contraignante d'un point de vue pédologique et climatique. En effet, la plus grande nécessité d'un sol ressuyé, notamment pour certaines opérations de semis et de désherbage, a été citée par plusieurs pour pratiquer le bio en non-labour. Cela dépend d'une part des conditions météorologiques et d'autre part du sol.

« (...) mais il faut savoir qu'on est dans une région où les terrains sont très lourds, les sols ressuient très difficilement, et donc les conditions d'application de ce genre d'outil au printemps, c'est quand-même très compliqué à trouver des fenêtres pour passer la herse étrille. » (E)

Un premier levier relevé pour contrer cela est l'irrigation, permettant de limiter la dépendance aux précipitations.

« (...) en bio on a quand même des cultures, regarde je prends le haricot et les petits pois qui ont des cycles végétatifs très courts et bon maintenant on est quand même partis sur des cycles pluie, sec, pluie, sec et donc on peut avoir des périodes comme ça parfois de deux mois donc on peut très bien tomber et donc ça permet de lever un peu ce problème d'eau. » (A)

Un second levier cité, contraire au premier pilier de l'AC, est la non-exclusion totale de la charrue. En effet, le passage d'outils alternatifs, tels que des outils à disques, devient compliqué lorsque le sol n'est pas suffisamment ressuyé (M. Ferdinand et al., 2019).

« Mais pour moi la charrue ne doit pas être exclue complètement parce qu'il y a des moments, des années où on ne sait vraiment rien faire. Par exemple la parcelle ici prise en comparaison, on a essayé de semer directement dans l'engrais vert, ça n'a pas été parce que ce n'était pas assez sec, mais l'autre parcelle, qui est en non-labour depuis 4 ans, ça a marché. Et donc, on a semé l'épeautre vraiment dans un engrais vert comme ça, avec un outil à disques, on a semé dedans en bio et c'est nickel, il n'est vraiment pas sale, donc voilà, ça a bien marché mais ça dépend des parcelles et ça dépend du sol. » (B)

7.2.1.6 Gestion compliquée de l'azote

Étant donné que les engrais de synthèse sont interdits en bio, la fertilisation dépend des engrais organiques, dont la disponibilité et le coût peuvent être très variables d'un agriculteur à l'autre.

« (...) les bouchons etc., c'est un gros problème aussi de trouver une source azotée en bio (...). » (A)

Cependant, intégrer l'élevage sur l'exploitation faciliterait cette gestion de l'azote, via l'apport d'engrais organique par le bétail.

« (...) le but serait de reprendre quelques bovins pour pouvoir jouer sur ces tableaux-là, et avoir pour une fertilisation organique aussi » (F)

De plus, le hachage systématique des pailles en bio serait une alternative à cette faible disponibilité d'engrais.

« Comme on n'a pas la possibilité de mettre beaucoup d'engrais, donc systématiquement on hache les pailles. » (E)

7.2.1.7 Difficulté du semis direct

Le semis direct devient un véritable challenge avec l'adoption de la certification bio, tout en étant considéré comme le « graal » de l'ABC pour certains.

Comme expliqué par l'agriculteur C, le principal problème est la lenteur de la plante à se développer en début de saison culturale, pouvant provoquer son pourrissement avant qu'elle soit complètement sortie. Lors d'un semis direct en agriculture de conservation, un engrais de synthèse est souvent utilisé pour booster la plante en début de culture. Celui-ci n'existe pas en bio et étant donné que le sol non travaillé est plus froid, il est moins propice au développement de la graine.

Un levier soulevé, mais actuellement faiblement vérifié, est la présence d'un engrais vert bien développé.

« (...) on a essayé l'année passée de semer du maïs comme ça mais, on a préparé ça pour un semis direct, ce qui a été le plus important pour moi, c'était d'avoir un bon engrais vert. Quand l'engrais vert est bon, il y a quand même de bonnes chances pour que ça parte bien donc, depuis le mois d'août de l'année d'avant, j'avais fait des déchaumages pour que la terre soit bien propre, ce même engrais vert, en y réfléchissant bien, on va mettre ça, parce que ça gèle, on avait mis du triticale dedans en disant le triticale, ça va faire de la masse, et quand on va le rouler au mois de mai pour semer, il va se coucher et il va mourir parce qu'il sera au stade de l'épiaison c'est-à-dire quand on le roule il meurt, donc tout ça, ça fait un an qu'on préparait quoi » (C)

7.2.2 Freins économiques

7.2.2.1 Coûts de production élevés

Produire avec la certification bio augmente considérablement les coûts de production, notamment via l'augmentation du temps de travail, le nombre de passages plus élevé ainsi que la fréquente nécessité d'investir dans de nouvelles machines.

« (...) je veux dire l'investissement en temps, en énergie ce sont des cultures qui coutent beaucoup plus chères à produire en bio » (A)

Cependant, ceci est compensé par une meilleure rémunération.

« (...) parce qu'en bio on doit passer presque 10 fois plus sur nos terres, ça coute de l'argent, mais on doit les suivre plus, mais on vend le produit plus cher donc on est rémunéré pour le travail (...) » (C)

7.2.2.2 Perte de rendement

Un autre frein économique concerne la perte de rendement en bio.

« J'explique par le fait qu'on ressort beaucoup moins de rendement en bio qu'en conventionnel » (E)

Un levier soulevé est de remplacer rapidement une culture si elle ne démarre pas comme espéré. De plus, cette diminution du rendement est également compensée, comme ci-dessus, par un prix de vente plus élevé des produits.

« En bio, on voit très vite si ça va aller ou pas donc ... Et quand vous voyez que ça ne va pas aller, alors ... Alors il ne faut pas hésiter, plutôt que de perdre, de salir la parcelle et de perdre en rendement voire de ne pas récolter, il vaut mieux passer tout de suite sur autre chose. » (F)

7.2.2.3 Exportations limitées et marché saturé

Dans la section précédente, une demande élevée avait été considérée comme une motivation à adopter la certification bio en AC. Cependant, un frein soulevé lors des entretiens est un marché saturé en bio ainsi que des exportations limitées. Cette contradiction est sans doute expliquée par une échelle temporelle. Le marché bio a évolué et la demande élevée qui était une motivation à l'adoption de la certification bio a ensuite diminué suite à une augmentation des surfaces ces dernières années.

« (...) tout le monde dit "Faites du bio, faites du bio", mais le marché est saturé. » (C)

7.2.2.4 Concurrence avec les importations

D'après l'agriculteur A, les agriculteurs bio sont soumis à une concurrence importante, notamment en céréales bio, face aux importations. Aucun levier n'a été cité à cela.

« Et je vois en céréales bio, on est très fort en concurrence par rapport aux importations, moi j'ai les mêmes prix que ce qui vient d'Israël ou du Kazakhstan ou Pakistan, j'ai les mêmes prix hein donc c'est un gros problème. » (A)

7.2.3 Freins techniques

7.2.3.1 Exigence du labour dans certains contrats bio

Certains contrats, en particulier de légumes bio, exigent le labour pour éviter les résidus en surface et ainsi agir notamment comme substitut aux insecticides.

« En carottes, par exemple, ou en oignons, sur le contrat, il est marqué noir sur blanc qu'on doit labourer en hiver. Parce qu'ils ont peur, s'il y a des résidus de végétation en

surface, et une mouche pond dedans, après les larves de mouches mangent les carottes, en bio hein, on n'a pas d'insecticides pour régler le problème... C'est pour ça qu'ils disent de labourer pour qu'il n'y ait aucun résidu : tout l'inverse de l'agriculture de conservation où il faut essayer qu'il y ait un max de végétation sur le dessus etc. Là c'est nièè, il faut que ça soit désert. » (C)

7.2.3.2 Spécification du matériel

L'adoption de la certification bio en AC demande une certaine spécification du matériel, notamment pour le désherbage. En effet, des outils, tels que la herse étrille, la houe rotative ou la bineuse, sont souvent utilisés pour le désherbage mécanique. Après généralement un essai, via notamment l'emprunt chez un voisin, l'agriculteur décide ou non d'investir dans ces nouvelles machines.

« Je connais des gens qui font de l'AC, d'autres qui font du bio, mais généralement ils ne font pas les 2, parce que ça demande une certaine spécification du matériel... » (B)

7.2.4 Freins environnementaux

Certains agriculteurs ont explicitement indiqué une dégradation de la structure du sol, ainsi qu'une plus grande sensibilité à l'érosion en bio, à cause d'un travail du sol plus important. Cela confirme la corrélation négative entre travail du sol et USDA, démontrée précédemment (section...)

« (...) on le voit bien aussi, on a l'impression que les terres bio sont plus fragiles que les terres conventionnelles parce qu'on est tout le temps en train de faire du fin et on retrouve des semelles à 15... on a déjà retrouvé sur certaines de nos terres en bio qu'on avait travaillées à tort trop souvent, des semelles à 15 cm parce qu'à force de travailler et retravailler... » (E)

Cependant, plusieurs agriculteurs ont rappelé le lien entre choix des cultures et travail du sol. Ainsi, certaines cultures moins exigeantes permettent un meilleur respect du sol.

« Voilà, maintenant si vous allez dans une ferme bio qui ne fait que de la céréale, je vais dire en Condroz ou en Ardenne où il y a quand même beaucoup moins... Bah vous aurez un respect du sol beaucoup plus important aussi quoi. » (A)

7.2.5 Freins personnels

7.2.5.1 Aversion au risque

La charrue ou le glyphosate sont deux méthodes assez simples dans la gestion de l'enherbement. Se passer des deux en ABC signifie donc une plus grande prise de risques.

Cependant, un levier soulevé à cela, mais non accessible à tout le monde, est la possession d'une surface agricole importante permettant cette prise de risque sur certaines parcelles.

Par ailleurs, la superficie moyenne des exploitations wallonnes était de 57,6 ha en 2019 (SPW, 2019). Or, les six agriculteurs rencontrés possèdent une surface supérieure à cette moyenne.

« Maintenant, on a 300ha, on peut se permettre, la parcelle dont je te parlais en bio et non-labour, c'est sur 4 ha, les essais avec la luzerne et le colza, c'est sur 7ha en tout, donc on ne prend pas un énorme risque non plus » (B)

7.2.5.2 *Désherbage manuel en légumes bio physiquement difficile*

Un nombre de passages élevé en bio implique souvent une augmentation du désherbage manuel. Celui-ci est fort critiqué pour deux raisons majeures : une augmentation du temps de travail, discuté plus haut, ainsi qu'une difficulté au niveau physique. Aucun levier n'a été cité à ce frein.

« (...) ici quand même c'était très lourd et très compliqué, en carottes et en oignons, c'est astronomique les heures que je passe là-dedans. C'est 2 mois (...) on fait 3 passages ou 4 passages en oignons, couchés sur les lits. (...) Ça me flingue la santé mais pas possible. Ah oui physiquement c'est la folie. » (A)

Chapitre 5 : Discussion

1 Critique de la méthodologie

Ce mémoire, articulé autour de trois sous-objectifs, s'est basé sur deux grandes méthodes de récolte des données : les entretiens semi-dirigés et la mesure en champ USDA. Même si cette approche s'est révélée efficace et a offert de nombreux avantages, certaines limites ont été rencontrées. Ce chapitre a pour objectif de prendre du recul par rapport à l'échantillonnage ainsi qu'à la réalisation de ces deux méthodes et d'évaluer leurs limites respectives.

1.1 L'échantillonnage

Le choix d'une population d'agriculteurs possédant des parcelles certifiées bio ainsi que des parcelles non-certifiées au sein de la même exploitation a été un choix très précis mais judicieux. Pour rappel, l'objectif de l'étude est d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'Agriculture de Conservation en Wallonie, dans un contexte de changements climatiques. Pour ce faire, le pairage de parcelles a offert un grand nombre d'avantages. Tout d'abord, il a permis de se détacher d'un certain nombre de biais, tels que celui de l'agriculteur ou de la région agricole. Ensuite, étant donné que l'ABC en Wallonie est un concept encore très peu répandu, ce pairage de parcelles au sein de la même exploitation a permis d'éviter de devoir imposer un cadre trop strict au concept d'ABC lors de l'échantillonnage. En effet, nous nous sommes basés sur l'hypothèse que si l'agriculteur pratique et est sensible à l'AC sur une partie de l'exploitation, il essaye de faire de l'ABC sur les parcelles certifiées bio. Finalement, cette méthode a permis d'étudier la quasi-totalité de la population concernée, évitant ainsi de tirer des conclusions générales à partir d'un échantillon mal choisi.

Cependant, deux remarques peuvent être faites vis-à-vis de cet échantillonnage. Premièrement, la population, devant répondre à ces critères très précis, est particulièrement restreinte en Wallonie. Cela a eu deux conséquences majeures : cela nous a empêché, d'une part, de faire tous les traitements statistiques prévus et, d'autre part, de parcourir toutes les régions agricoles en Wallonie. Deuxièmement, ce pairage a permis une comparaison interne au sein de la population, selon les parcelles certifiées et celles non-certifiées, mais il serait intéressant à ce stade de replacer notre population et leur relation à l'AC et à l'ABC dans un contexte plus large, parmi tous les agriculteurs pratiquant l'AC ou l'ABC en Wallonie. En effet, il ne serait pas étonnant d'observer que ce choix de pairage de parcelles, bien qu'ayant offert beaucoup d'avantages, ait éliminé les agriculteurs ayant les relations les plus élevées avec l'AC ou l'ABC.

1.2 Entretiens semi-dirigés

La première méthode de récolte de données concerne les entretiens semi-dirigés avec les agriculteurs.

1.2.1 Le type d'entretien

Ce type d'entretien était particulièrement adapté à cette étude. Il a permis de comprendre la complexité du terrain en associant récolte de données quantitatives à qualitatives, tout en laissant la possibilité à l'agriculteur de donner son opinion à tout moment de la discussion.

Cependant, il est à noter que travailler en collaboration avec des agriculteurs n'est pas toujours une chose aisée. Tout d'abord, bien que partant généralement d'une grande bonne volonté, l'emploi du temps de ces derniers est souvent très chargé et surtout imprévisible. Ensuite, l'organisation de chaque agriculteur est très différente, tandis que certains enregistrent chacune de leur pratique dans l'ordinateur, sachant fournir directement de fiches cultures bien soignées, d'autres ne prennent notes que du nécessaire pour les procédures administratives, transmettant ainsi certaines données de tête, risquant d'être sûrement moins précises. Finalement, lors de l'entretien, certaines données ne sont pas directement à disposition de l'agriculteur (cultures gérées par un entrepreneur ou autre). Les obtenir par la suite peut se révéler compliqué et ainsi ralentir fortement le processus de collecte, si l'agriculteur est peu joignable ou s'il a de nombreuses autres priorités.

1.2.2 Le guide d'entretien

Étant donné que la liste des informations à récolter était longue et que le temps des agriculteurs est généralement compté, le guide d'entretien, rédigé au préalable, a été un outil précieux. En effet, il a permis d'aborder les mêmes thématiques, certaines plutôt quantitatives et d'autres plutôt qualitatives, chez chacun des agriculteurs rencontrés. Ce guide d'entretien aurait cependant pu être encore amélioré.

Tout d'abord, il aurait été particulièrement intéressant d'inclure au guide d'entretien une question ouverte pour chacun des piliers de l'AC et des deux pratiques additionnelles, demandant l'opinion de l'agriculteur concernant les changements s'opérant lors d'un passage à l'ABC.

Concernant l'historique des pratiques sur les parcelles sélectionnées, le choix des observations récoltées présente certaines limites. Tout d'abord, en rapport au premier pilier, il a été décidé de ne pas recenser les passages des engins agricoles n'ayant pas d'action sur le sol, tels que les passages de moissonneuses, les travaux de traitement etc. C'est une limite à l'étude étant donné qu'on diminue de cette façon le nombre de passages sur le champ. De plus, les rendements de chaque culture auraient pu également être ajoutés aux observations récoltées, pour permettre une comparaison des modèles AC et ABC à ce niveau ainsi que pour permettre de les relier avec la fertilisation par exemple.

Par ailleurs, maintenant que l'interférence du choix de la culture sur les piliers de l'AC et sur la structure du sol a été mise en avant, il serait intéressant d'approfondir l'étude concernant la place des cultures dans les deux modèles.

« Sachant que de nouveau en agriculture de conservation, certains disent que les patates n'ont pas leur place parce que c'est un travail du sol plus lourd... » (B)

En effet, bien que certaines tendances aient pu être observées, telles que la place plus importante donnée aux légumineuses en ABC ou l'intégration de prairies temporaires pour certains, il serait intéressant d'élargir l'étude en amont des pratiques, en analysant les facteurs influençant la construction de la rotation dans chaque système, dans leur globalité.

1.2.3 Le choix des variables

En parallèle à ces observations, le choix des variables pour caractériser les modèles AC et ABC peuvent également être discutés à certains niveaux. Concernant le second pilier, les choix de la date de début et date de fin atteignent certaines limites. En effet, le sol est considéré comme couvert dès le semis de la culture, alors qu'il est évident qu'il faut un certain temps à celle-ci, variable en fonction des espèces, pour se développer et avoir une réelle action de couverture sur le sol. De même pour la date de fin, le sol est considéré comme nu lors du premier travail du sol suivant la récolte, enfouissant les résidus. Pourtant, la fonction de couverture remplie par les chaumes après récolte des céréales n'est certainement pas équivalente lorsque les pailles sont laissées ou exportées. Cependant, ces choix ont été pris, faute de données suffisantes concernant l'évolution de la couverture du sol, selon la plante et la date de semis.

1.2.4 La sélection des parcelles

La sélection des parcelles était un paramètre auquel il a fallu être particulièrement attentif, étant la base de la comparaison. Le faire en concertation avec l'agriculteur a permis de sélectionner des parcelles répondant exactement aux critères (cf. page 28). Même si nos différents critères dans la sélection de ces parcelles ont permis de se détacher de nombreux biais (le type de sol, la culture actuelle, la pente etc.), nous avons identifié précédemment que l'interférence de facteurs externes, tels que le choix de la succession culturale, était un biais inévitable. Des résultats plus précis auraient sans doute été obtenus sur des parcelles ayant une succession culturale exactement identique, mais celles-ci n'auraient cependant pas permis d'étudier la diversité à ce niveau entre les deux systèmes.

1.2.5 La mesure en champ

Le choix de la mesure en champ atteint certaines limites. Tout d'abord, notre mesure a été contrainte de se limiter aux capacités d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, au vu de la variabilité spatiale et temporelle des mesures des capacités d'atténuation (cf. page 29). Il serait cependant intéressant de quantifier les émissions de CO₂, N₂O et la séquestration de carbone dans le sol dans les systèmes AC et ABC en Wallonie pour avoir un aperçu plus systémique de la contrainte de la certification bio face aux changements climatiques.

Concernant la méthode USDA, les résultats ont permis de dégager certaines tendances intéressantes. Cependant, il est à noter que la définition « d'agréats dissous » dans le protocole de la mesure, réalisé par Prosensols, peut être source de confusion. Notre méthodologie s'est basée sur celle de Nicolas Biot, qui a réalisé cette mesure dans le cadre de son mémoire. Finalement, une amélioration de cette mesure aurait été de prélever des agrégats selon différentes couches de sols, et pas seulement en surface. Cela aurait permis de vérifier que la structure du sol suit les tendances observées en profondeur également.

2 L'Agriculture Biologique de Conservation en Wallonie

L'agriculture actuelle est face à deux défis : atténuer son impact sur les changements climatiques actuels en réduisant ses émissions de GES, tout en diminuant sa vulnérabilité face à ces changements. Pour ce faire, de nouveaux systèmes de production émergent, parmi lesquels l'Agriculture Biologique de Conservation (ABC). L'ABC semble cependant rencontrer certains obstacles à son développement.

Ce mémoire s'est construit autour d'un objectif général d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'AC en Wallonie, dans ce contexte de changements climatiques. Trois sous-objectifs émanent de cet objectif global. Le premier était d'identifier la diversité des changements dans les pratiques agronomiques des agriculteurs wallons qui incluent la certification bio dans leurs pratiques d'AC, tendant vers l'ABC. Le second était de mesurer les effets de cette diversité de changements de pratiques sur la structure du sol. Finalement, le troisième était d'identifier les motivations et freins des agriculteurs wallons à acquérir la certification bio en AC ainsi que leur vision de l'avenir de leurs pratiques et/ou de leur exploitation.

Sur base des résultats des sections précédentes, il est intéressant de se positionner par rapport à la faisabilité de pratiquer l'ABC en Wallonie ainsi qu'à l'interférence du choix des cultures dans son développement. Finalement, cette section se terminera par une comparaison des modèles AC et ABC, vis-à-vis de leur impact sur la structure du sol.

2.1 Est-il possible de pratiquer l'AC en agriculture biologique ?

L'adoption de la certification bio en Wallonie semble possible, mais pas chez tous les agriculteurs. Sur base du travail du sol et de la couverture du sol, nous avons classé les six agriculteurs en deux groupes : i) ABC substitution mécanique et ii) ABC reconception (cf. page 56). Les parcelles ABC du premier groupe se distinguent des parcelles AC par un travail du sol plus élevé ainsi qu'une couverture du sol plus faible. Pour ces trois agriculteurs, l'adoption de la certification les éloigne de l'AC. Les parcelles ABC du second groupe (« reconception ») parviennent, malgré la certification bio, à maintenir les piliers de l'AC à des niveaux équivalents aux parcelles non-certifiées. Les agriculteurs de ce groupe nous montrent qu'il est possible de pratiquer l'AC en agriculture biologique.

Cependant, les deux groupes se différencient par le choix des cultures. Concernant les agriculteurs du groupe « ABC reconception » : alors que les agriculteurs D et E intègrent une prairie dans la succession culturale de leur parcelle ABC, l'agriculteur F ne présente aucune culture ayant un effet négatif sur le sol. A l'inverse, les agriculteurs du groupe « ABC substitution mécanique" (soit A,B et C) présentent tous les trois des pommes de terre dans la succession de leur parcelle ABC. Ceci montre que la catégorisation des groupes « ABC reconception » et « ABC substitution mécanique » est associée au choix des cultures.

2.2 Est-il possible de pratiquer l'ABC sur toutes les cultures ?

La capacité à maintenir les pratiques AC, après l'adoption de la certification bio, est influencée par le choix des cultures. Braibant et Morelle (2018) avaient déjà soulevé l'interaction entre les espèces cultivées et le premier pilier de l'AC (réduction du travail du sol). Selon leur classification (cf. Annexe 9), les cultures de pommes de terre, de betteraves, de chicorées et de légumes sont les plus exigeantes en travail du sol. La pomme de terre est la culture qui présente les plus grandes difficultés en termes de réduction du travail du sol. Nous pouvons donc convertir les noms des groupes « ABC substitution mécanique » et « ABC reconception » par « ABC cultures exigeantes » et « ABC cultures faciles » respectivement. Sur base du Tableau 14 ci-dessous, on observe une grande variation dans les réponses aux piliers de l'AC et à la fertilisation, en fonction du choix des cultures. En effet, l'adoption de la certification bio avec des cultures exigeantes, telles que la pomme de terre, aurait pour conséquence d'augmenter le travail du sol et de diminuer la couverture, impactant négativement la structure du sol. Par ailleurs, la conversion bio avec des cultures faiblement exigeantes – que nous appelons « cultures faciles » – telles qu'une prairie temporaire ou des associations en céréales, permettrait de maintenir ou d'augmenter les premier et deuxième piliers, ainsi que la structure du sol, en comparaison au système AC.

Tableau 14 : Réponses aux piliers de l'AC, à la fertilisation et effet sur la structure du sol, lors du passage de l'AC vers l'ABC de chacun des agriculteurs, en fonction du choix des cultures sur la parcelle ABC. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre d'agriculteurs faisant partie de la catégorie ABC correspondante.

	ABC cultures faciles (3)		ABC cultures exigeantes (3)
	Prairie temporaire	Associations en céréales	
Pilier 1	↘	±=	↗
Pilier 2	±=	±=	↘
Pilier 3	↘	↗	?
Fertilisation	↘	↘	↘ ⁴
USDA	↗	±=	↘

⁴ Sauf pour l'agriculteur A, qui présente une fertilisation plus élevée sur sa parcelle ABC par rapport à la parcelle AC.

2.3 AC ou ABC, quel modèle pour limiter les impacts sur la structure du sol?

Suite à une analyse des interactions entre le choix de la culture, les piliers de l'AC et la structure du sol, nous avons catégorisé chaque parcelle selon que (i) elle correspond à une parcelle AC ou ABC et (ii) selon qu'elle présente une succession culturale avec au minimum une culture exigeante en terme de travail du sol (SCE) (d'après la classification de Braibant et Morelle (cf. Annexe 9) ou une succession culturale sans aucune culture exigeante, appelée ici succession culturale avec cultures faciles (SCF) (de type prairie ou céréales).

Tableau 15 : Classification des parcelles certifiées (ABC) et non-certifiées bio (AC), selon qu'elles comprennent une succession culturale avec au minimum une culture exigeante (SCE) ou une succession culturale avec des cultures faciles (de type prairie ou céréales) (SCF).

Agriculteur	Parcelles	Succession culturale *	Prairie temporaire	Pomme de terre	Type de parcelle
A	AC	CH,I,B,H,I, Pdt,CH,	Non	Oui	AC _{SCE}
	ABC	CH,I,P,E, Pdt,CH/P,I, O, CH	Non	Oui	ABC _{SCE}
B	AC	I,CH,I,Pdt, CH	Non	Oui	AC _{SCE}
	ABC	I,CH,I,Pdt, P,I,CH	Non	Oui	ABC _{SCE}
C	AC	H,CH,I,P,I, Pdt,CH	Non	Oui	AC _{SCE}
	ABC	Q,H,Pdt,P, I,CH	Non	Oui	ABC _{SCE}
D	AC	CP,CH,I,B, Pdt,CH	Non	Oui	AC _{SCE}
	ABC	PT,M,P,I, CH	Oui	Non	ABC _{SCF}
E	AC	I,CP,CH,CH, I, M,CH, CH	Non	Non	AC _{SCF}
	ABC	PT,CP,CP/CP/P,CH,CH/P	Oui	Non	ABC _{SCF}
F	AC	CH,I,CH, C/I,I,CH/I	Non	Non	AC _{SCF}
	ABC	CH,I,CH/P, CP/I,CP/L	Non	Non	ABC _{SCF}

***Légende :** Céréales d'hiver : CH, Céréales de printemps : CP, Colza : C, Intercultures ou sous-semis : I, Betterave : B, Haricots : H, Pomme de terre : Pdt ; Pois : P, Epinards : E, Oignons : O, Quinoa : Q, Prairie temporaire : PT, Féveroles : F, Lentille : L, Maïs : M. Associations : « / », Succession : « , ».

A ce stade, il semble adéquat de souligner que la succession culturale est le premier facteur influençant les piliers de l'AC et, in fine, la structure du sol, et ce, quel que soit le modèle choisi. En effet, le tableau de la section précédente (Tableau 14) ainsi que la figure ci-dessous (Figure 13) renforcent cette théorie en mettant en évidence des contrastes, généralement marqués, entre les différents types de successions culturales. Cela signifie que le choix de certaines cultures permet à certains systèmes ABC d'atteindre une relation supérieure à l'AC, en comparaison à d'autres systèmes AC, de cultures différentes.

En outre, à partir du pairage des parcelles chez les six agriculteurs rencontrés, deux hypothèses peuvent être relevées, en gardant en tête la petite taille de l'échantillon testé. La première hypothèse est qu'intégrer une prairie temporaire dans la succession culturale serait particulièrement bénéfique pour la structure du sol. En effet, en comparant les parcelles de l'agriculteur E ayant toutes les deux une succession culturale à cultures faciles, on constate

que la succession culturale de la parcelle ABC_{SCF}, intégrant une prairie temporaire, possède une meilleure structure du sol que la parcelle AC_{SCF}, ayant des associations de céréales. Ensuite, notre seconde hypothèse est, qu'à succession culturale identique, les pratiques de l'AC soient meilleures pour la structure du sol que celles de l'ABC. Cette hypothèse est renforcée par les parcelles des agriculteurs B et C, et dans une moindre mesure les parcelles des agriculteurs A et F.

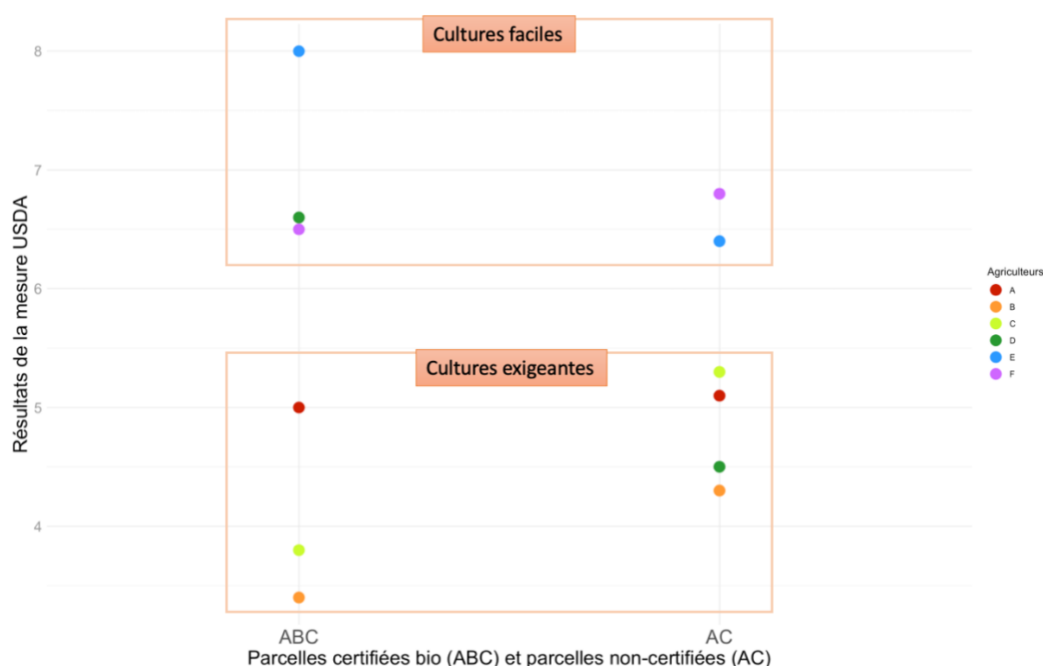


Figure 13 : Résultats de la mesure USDA en fonction des parcelles certifiées (ABC) et des parcelles non-certifiées (AC), et catégorisation des successions culturales selon les cultures faciles et les cultures exigeantes.

Cependant, il est important de rappeler les limites à cette discussion. Premièrement, notre analyse est basée sur une seule mesure de structure du sol, USDA, permettant de visualiser l'effet des pratiques sur les conditions en champs. Deuxièmement, les successions culturales ont ici été classées en deux groupes (successions avec, d'une part, des cultures exigeantes et avec, d'autre part, des cultures faciles). Néanmoins, cette classification est à nuancer avec le grand nombre de successions culturales possibles, comprenant des cultures pouvant également avoir des exigences intermédiaires en terme de travail du sol (cf. Annexe 9). Ainsi, un grand nombre de sous-groupes peuvent être distingués parmi ces trois grandes catégories, avec chacun leurs effets propres. Troisièmement, comme mis en avant dans les résultats, les agriculteurs font face à une série très vaste de motivations et freins, notamment lors de l'adoption de la certification bio (cf. page 61). Ces contraintes exigent une adaptation au niveau du choix des cultures, rendant parfois compliqués les changements à l'échelle de l'exploitation. Finalement, il est nécessaire de se rappeler que, bien que les cultures plus exigeantes ne permettent pas d'atteindre une relation élevée à l'AC, ces cultures sont nécessaires pour l'alimentation et ne peuvent être remplacées.

Chapitre 6 : Conclusion et perspectives

L'Agriculture de Conservation (AC) et l'Agriculture Biologique (AB) sont deux modèles de production nés en réponse aux enjeux de durabilité actuels. Cependant, à cause de choix techniques différents, une convergence entre ceux-ci, menant à la construction d'une Agriculture Biologique de Conservation (ABC), semble dans certains cas compliquée.

Cette étude a tout d'abord mis en évidence une diversité de changements de pratiques, lors de l'adoption de la certification bio en AC. Certains agriculteurs wallons réussissent à maintenir une relation élevée à l'AC, malgré l'adoption de la certification bio.

Néanmoins, les résultats de l'étude ont soulevé le choix des cultures comme facteur primordial dans la relation de l'agriculteur avec l'AC. En effet, les stratégies « ABC reconception » et « ABC substitution mécanique » relevées par Ferdinand et al. (2019), faisant référence à la place majeure du glyphosate dans la relation de l'agriculteur avec l'AC, sembleraient plutôt liées au choix de cultures, exigeantes ou non en termes de travail du sol. Ainsi, ce choix de cultures primerait sur le choix du modèle, AC ou ABC, et par conséquent sur l'utilisation ou non d'intrants de synthèse tels que le glyphosate, pour maintenir une relation élevée avec l'AC.

Par ailleurs, la relation des agriculteurs aux différents piliers de l'AC, et principalement au travail du sol, a un effet direct sur la structure du sol. C'est pourquoi certains systèmes du modèle ABC, réussissant à maintenir une relation élevée avec l'AC via un choix de cultures non-exigeantes en travail du sol, semblent être plus bénéfiques sur la structure du sol, que d'autres systèmes AC, avec un choix de cultures différentes. Finalement, il semblerait tout de même que, à cultures identiques, le modèle AC maintienne une meilleure structure du sol en comparaison à l'ABC.

En outre, bien que le choix des cultures influence grandement la relation que l'agriculteur entretient avec l'AC et en conséquence la structure du sol, il est important de garder en tête la multitude de contraintes auxquelles les agriculteurs sont soumis. Ces contraintes et leurs leviers, les motivations à l'adoption de ces systèmes et l'identité de chaque agriculteur influenceront les stratégies adoptées par chacun.

Par ailleurs, cette interférence importante du choix des cultures dans la relation des agriculteurs avec l'AC permettrait de soulever certains questionnements au niveau de l'agriculture wallonne. Ne serait-ce pas l'occasion de reconsidérer la place de ces cultures exigeantes dans notre système alimentaire ? De développer des technologies plus durables permettant cultiver celles-ci en diminuant leurs effets néfastes sur la structure du sol ? De revaloriser l'élevage pour le maintien de nos prairies ? De revoir nos exportations de pommes de terre à la baisse, pour préserver les sols wallons ? Ce mémoire débouche probablement sur plus de questions que de certitudes, mais il ouvre une réflexion fondamentale sur l'avenir de l'agriculture wallonne.

Chapitre 7 - Annexes

Annexe 1 : Ciblage par téléphone

Présentation	Me présenter. Je réalise un mémoire à l'UCLouvain avec Philippe Baret et Manon Ferdinand dans lequel j'étudie la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'AC. J'ai eu vos coordonnées via ...
Ciblage	- Vous connaissez l'Agriculture de Conservation des sols ? - La pratiquez-vous ? Depuis quand ? - Avez-vous la certification bio ? Sur toutes les parcelles ? Faites-vous de l'AC sur vos parcelles certifiées ? Depuis combien de temps faites-vous de l'ABC ?
Conditions de recrutement	Si pratique l'AC depuis minimum 5 ans et est certifié bio sur certaines parcelles sur lesquelles il tente de pratiquer l'AC également, depuis minimum 2 ans.
Contexte	Présentation du contexte du mémoire (tension entre AC et AB et objectif plus précis de mon mémoire)
Volonté de se joindre à l'étude ?	Pour ce faire, j'espère pouvoir échanger avec différents agriculteurs concernant leurs pratiques et point de vue à ce sujet. Seriez-vous disponible pour en discuter ? Toutes les informations utilisées par la suite seront évidemment anonymes et confidentielles.
En pratique	- Durée de l'entretien : 1h30. - Sujet : quelques questions sur votre exploitation et sur vos pratiques en AC et en ABC - Mesures en champs - Pour l'entretien, vous pouvez préparer la documentation que vous avez sur vos cultures et fertilisation. - Quand êtes-vous disponible ces prochains jours ? - Où se situe votre exploitation ? - Pour information, l'entretien doit se faire idéalement autour d'une table en intérieur. A cause du covid, je porterai évidemment un masque et me désinfecterai les mains. Est-ce que cela vous convient ? Remerciements

Annexe 2 : Guide d'entretien

Partie 1 – Mise en confiance

- Remerciements
- Me présenter (master II bioingé, rappel du sujet de mon mémoire)
- Demander l'autorisation d'enregistrer (spécifier que les données récoltées seront anonymisées)

Partie 2 – Caractérisation de l'exploitation

Thèmes	Questions	Informations
Antécédents	Quand avez-vous repris l'exploitation ? Pratiques précédentes ?	Reprise : Pratiques :
Caractéristiques	Combien d'hectares ? Combien certifiés/non certifiés bio ? Tout en AC ? Cultures composant l'assolement ? Élevage ? Caractéristiques du sol ?	SAU [ha] : Prairie permanente [ha] : Prairie temporaire [ha] : Assolement habituel : AC [ha]: ABC [ha]: Bio [ha]: Conversion en bio depuis : Élevage [race] : [Nombre de têtes] : Caractéristiques du sol :
Parcours	Parcours vers l'AC / AB / ABC ?	Parcours :

Partie 3 - Pratiques agricoles

Choix des parcelles

- Explication des mesures
- Nécessité de cultures semblables, idéalement céréales d'hiver
- Qu'elles soient représentatives des pratiques en AC et ABC
- Vérification du sol, via la carte numérique des sols

Caractérisation des pratiques :

Thèmes	Questions	AC	ABC
Caractérisation de la parcelle sur 5 ans	Quelles cultures ont été implantées sur ces parcelles ces 5 dernières années ? (Cultures associées ?)	Cultures :	Cultures :
Couverture du sol (pilier 2)	Que faites-vous des résidus de culture ? Enfouis ? Exportés ? Laissés ?	Résidus :	Résidus :
Couverture du sol (pilier 2) et diversification (pilier 3)	Date de semis et de récolte des cultures	Date de semis : Date de récolte :	Date de semis : Date de récolte :
	Que faites-vous entre 2 cultures ?	Interculture ?	Interculture ?
	Date de semis et de destruction des couverts ?	Date de semis : Date de récolte :	Date de semis : Date de récolte :
	Combien d'espèces composent le couvert ? Lesquelles ?	Nombre d'espèces : Espèces :	Nombre d'espèces : Espèces :
Travail du sol (pilier 1)	Outil employé ? Profondeur de travail ? Date du passage ?	Outil : Fréquence Profondeur : Nombre de passage / an :	Outil : Fréquence Profondeur : Nombre de passage / an :
Fertilisation	Fiche cultures ?	Fiche	Fiche
	Engrais chimique de synthèse : Dose appliquée ? Date ?	Dose engrais chim :	Dose engrais chim :
	Engrais organique : Dose ? Date ?	Dose EO :	Dose EO :
Produits phyto	Dose appliquée ? Date ?	Dose :	Dose : 0 (AB)

Partie 4 – Motivations, freins et avenir de l’exploitation

Motivations à l’adoption de l’AC / ABC	Quelles étaient vos motivations à adopter l’AC ? ABC ?	Motivations AC : Motivations ABC :	Motivations AC : Motivations ABC :
Freins à l’adoption de l’AC / ABC	Pour vous, y a-t-il des freins à l’adoption de ces modèles ?	Freins AC : Freins ABC :	Freins AC : Freins ABC :
Evolution des pratiques	Comment voyez-vous évoluer vos pratiques ?	Evolution des pratiques :	Evolution des pratiques:
Evolution de l’exploitation	Comment voyez-vous évoluer votre exploitation ?	Evolution de l’exploitation :	Evolution de l’exploitation :

Partie 5 - Boule de neige

Connaissez-vous des agriculteurs étant, comme vous, en AC et étant certifié bio sur une partie de l’exploitation ?

Partie 6 - Remerciements

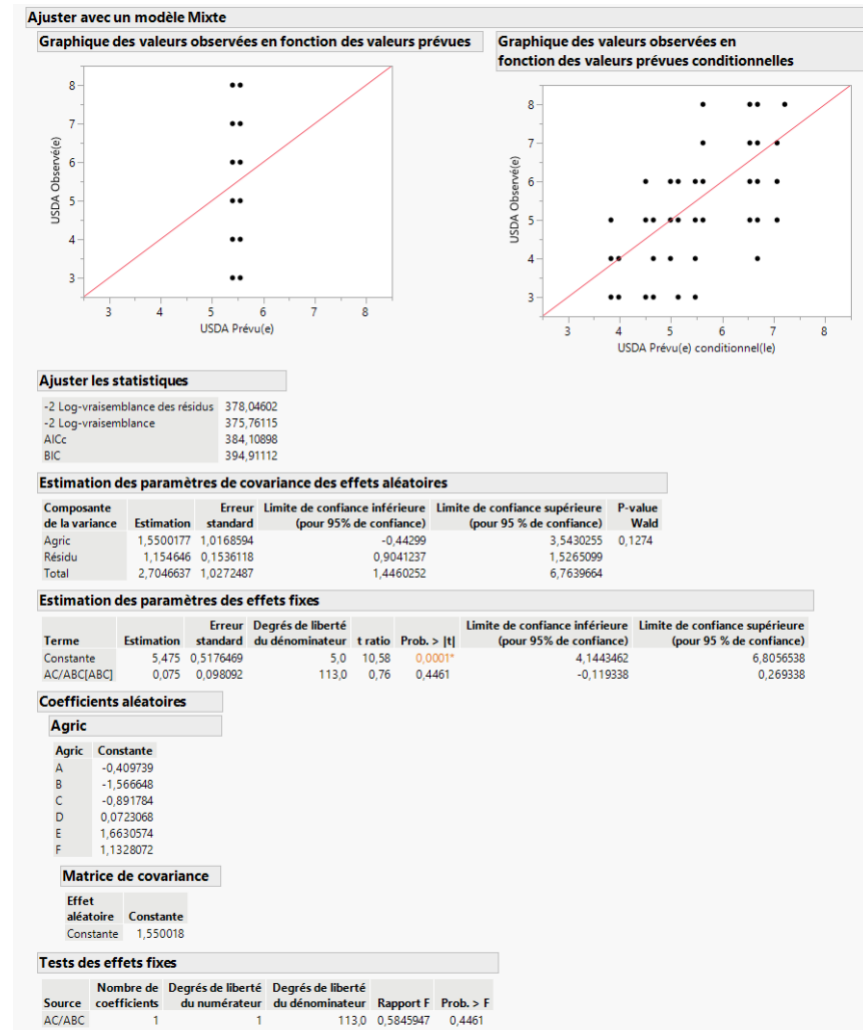
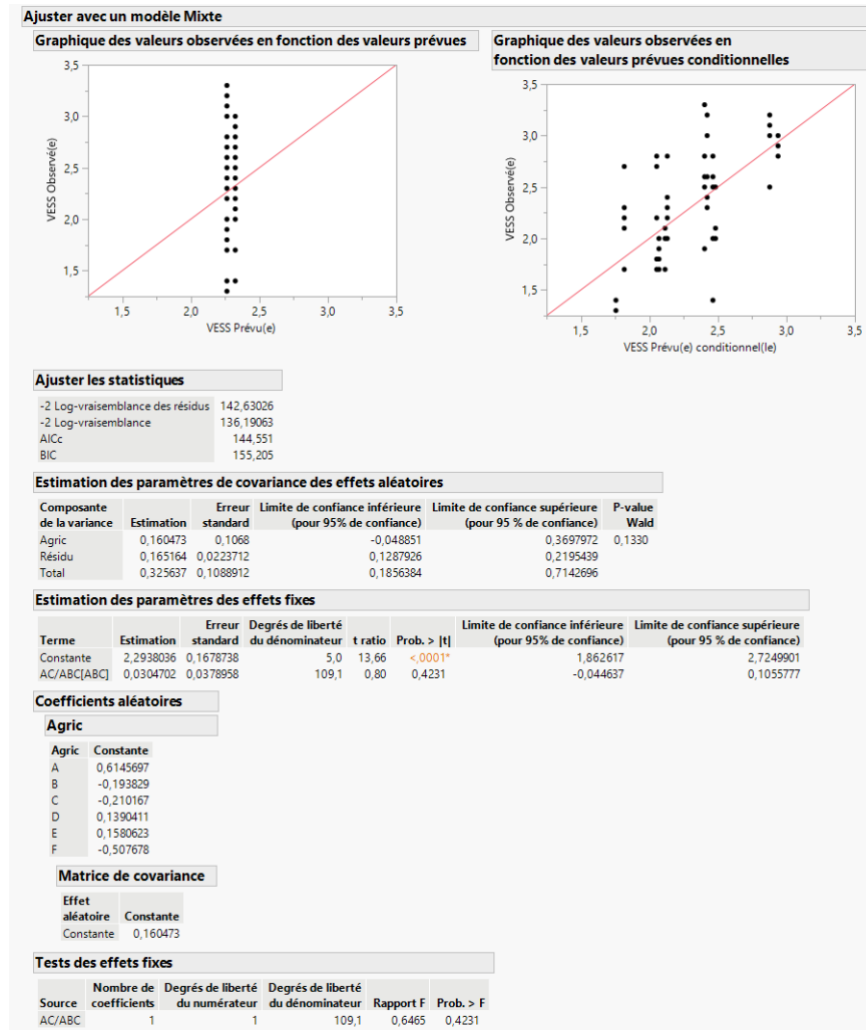
Remerciements, demander adresse email pour la restitution des résultats

Annexe 3 : Concepts, indicateurs, observations, variables

Concepts	Indicateurs	Observations	Variables
P1 – Travail du sol minimum	• Passage des engins agricoles limité	• Recenser les passages de travail du sol Pour chaque passage :	• Moyenne annuelle des opérations de travail du sol, pondérées par leur action sur le sol (Passages pondérés/an).
	• Action sur le sol limitée.	• Outil de travail du sol employé	• Part du semis par rapport aux autres opérations (%)
	• Profondeur du travail du sol et pourcentage de la superficie travaillée limités. L'idéal est le SD.	• Profondeur de travail du sol	• Profondeur maximale des opérations de travail du sol (cm)
P2 – Couverture permanente du sol	• Couverture via des résidus de cultures, du fumier ou des cultures vivantes. L'idéal est un couvert développé et permanent.	• Dates de semis et date de fin de la couverture.	• Moyenne annuelle du nombre de jours couverts (j/an).
	• La durée d'implantation des couverts		
	• Les périodes de mai à septembre sont les plus à risques d'érosion.		• Moyenne de jours où le sol est couvert de mai à septembre (j). • Proportion de cultures de printemps de mai à septembre (%).
	• L'aménagement de la rotation	/	/
P3 – Diversification des cultures	• Diversification via des rotations et/ou des associations de cultures et/ou des intercultures et/ou mélanges variétaux	• Recenser les espèces. • Recenser les familles. • Type de diversification.	• Moyenne annuelle des espèces différentes (sp/an) • Proportion associations VS monoculture (% associations) • Proportion intercultures (VS rente) (%) • Proportion de légumineuses (VS autres familles) (%)
	• L'idéal est de maximiser le nombre de cultures différentes.		

PA – additionnelles indispensables	Pratiques	•Utilisation des produits phytosanitaires	•Produits, doses, dates	•IFT
		•Utilisation des fertilisants de synthèse et organiques.	•Produits, doses, dates	•N total moyen annuel (kg/ha/an) • P total moyen annuel (kg/ha/an) • Proportion d'engrais minéral (VS organique) (%)
		•Besoin de connaissances, d'expériences, d'outils adéquats et d'autonomie.	•Recenser les facteurs d'adoption (qualitatif). •Années d'expérience en A(B)C. •Néo-agriculteur, pratiques prédécesseur.	•Facteurs d'adoption (qualitatif) •Nombre d'années d'expérience (AC / ABC) (ans) •Pratiques prédécesseur (labour ou NL)
		•Intégration de l'élevage et du pâturage	• Élevage ou non •Pâturage des couverts et/ou des repousses	•Possession d'un cheptel (oui/non) •Pâturage (oui/non)

Annexe 4 : Résultats statistiques des mesures VESS et USDA, via un modèle linéaire mixte (logiciel JMP)



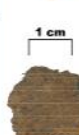
Annexe 5 : Mesure VESS

Description de la méthode VESS

La méthode VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) est basée sur le protocole de Guimarães et al. (2011). Cette méthode d'observation visuelle consiste à prélever à la bêche un bloc de sol non perturbé sur une profondeur de 25 cm, 10 cm d'épaisseur et 20 cm de largeur. Ensuite, après avoir séparé et mesuré les horizons de structures différentes, un score est donné à chacun d'eux à l'aide de la fiche VESS ci-dessous. Le score, allant de 1 (bonne) à 5 (mauvaise structure du sol) est défini sur base de critères tels que la taille, la résistance, la porosité, les racines et la couleur. Finalement, une note globale est calculée pour le bloc en multipliant le score de chaque couche par son épaisseur et en divisant le produit par la profondeur globale (Guimarães et al., 2011).

L'application VESS (Version 1.1.0), inspirée de Guimarães et al. (2011) également, a été utilisée pour effectuer la mesure.

Tableau : Caractéristiques des scores VESS. Guimarães et al. (2011).

Evaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (VESS) traduction de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., and Tormena, C.A. (2011) adaptée de Boizard, H. et al., In Baize, D. et al., (2013)									
Qualité de la Structure	Apparence générale	Taille	Racines	Porosité Visible*	Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent		Traits distinctifs	Apparence des agrégats* ou fragments* de ≈ 1.5 cm de diamètre	1 cm
Sq1 Friable Agrégats* se désagrègent très facilement avec les doigts	Pas de motte fermée*	La plupart des agrégats* < à 0.6 cm.	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont TRES poreux			Agrégats* très fins et poreux		Agrégats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.
Sq2 Intact Agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts		Mélange d'agrégats* arrondis de 2mm à 7cm		La plupart des agrégats* sont poreux.			Forte porosité des agrégats*		Agrégats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.
Sq3 Ferme La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Présence possible de mottes fermées*	Mélange d'agrégats* de 2 mm-10 cm. Moins de 30% <1cm.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentent sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers visibles » * et les fissures*	Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*			Faible porosité des agrégats*		Agrégats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.
Sq4 Compact Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	Principalement mottes fermées* sub-angulaires	moins de 30% des mottes sont de taille <7cm ; structure lamellaire possible.		Peu de « pores grossiers visibles » * et peu de fissures*			Racines dans les pores grossiers visibles*		Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.
Sq5 Très Compact Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	Principalement mottes fermées* angulaires	mottes angulaires >10cm, très peu de taille <7cm.		Très peu de « pores grossiers visibles » * et de fissures*. Anoxie possible.			Couleur gris-bleu possible		Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.

Résultats de la mesure VESS, en parallèle aux résultats de la mesure USDA

Les moyennes des résultats des mesures des différents échantillons par parcelle sont résumées dans le tableau ci-dessous. On peut observer une grande variabilité entre agriculteurs. Pour rappel, les résultats de la mesure USDA varient de 1 à 8, d’une mauvaise à une bonne structure du sol. Tandis que les résultats de la mesure VESS varient de 1 à 5, d’une bonne structure à une mauvaise structure du sol.

Selon VESS, la structure du sol est moins bonne sur les parcelles certifiées bio chez les agriculteurs B et F, est meilleure sur les parcelles certifiées chez les agriculteurs D et E et est plus ou moins semblable chez les agriculteurs A et C.

Grâce à la dernière colonne du tableau, comparant les conclusions des mesures par rapport aux modèles AC et ABC, on peut voir que les mesures USDA et VESS donnent des conclusions semblables pour quatre agriculteurs et des conclusions différentes pour les deux derniers.

Tableau : Moyenne des résultats des mesures en champ, VESS et USDA, par parcelle certifiée bio (ABC) et non-certifiée (AC) et comparaison des résultats sur la structure du sol entre mesures (= : conclusions égales ; × : conclusions différentes).

Agriculteur	Parcelle	Succession culturale*	USDA	VESS	Comparaison des mesures
A	AC	CH,I,B,H,I, Pdt,CH,	5,1	2,96	
A	ABC	CH,I,P,E, Pdt,CH/P,I, O, CH	5	2,92	
Comparaison AC → ABC			±=	± =	=
B	AC	I,CH,I,Pdt, CH	4,3	1,84	
B	ABC	I,CH,I,Pdt, P,I,CH	3,4	2,34	
Comparaison AC → ABC			↘	↗	=
C	AC	H,CH,I,P,I, Pdt,CN	5,3	2,04	
C	ABC	Q,H,Pdt,P, I,CH	3,8	1,93	
Comparaison AC → ABC			↘	± =	×
D	AC	CP,CH,I,B, Pdt,CH	4,5	2,62	
D	ABC	PT,CP,P,I, CH	6,6	2,26	
Comparaison AC → ABC			↗	↘	=
E	AC	I,F,CH,CH, I, CP,CH, CH	6,4	2,7	
E	ABC	PT,A,CP/A /P,CH,CH/P	8	2,22	
Comparaison AC → ABC			↗	↘	=
F	AC	CH,I,CH, CP/I,I,CH/I	6,8	1,32	
F	ABC	CH,I,CH/P, CP/I,A/L	6,5	2,2	
Comparaison AC → ABC			±=	↗	×

**Légende : Céréales d’hiver : CH, Céréales de printemps : CP, Intercultures : I, Betterave : B, Haricots : H, Pomme de terre : Pdt ; Pois : P, Epinards : E, Oignons : O, Quinoa : Q, Prairie temporaire : PT, Féveroles : F, Avoine : A, Lentille : L. Associations : « / », Succession : « , ».*

Traitements statistiques des résultats de VESS

Comme pour USDA, les résultats de VESS ont pu être soumis à des tests d’hypothèses. Une analyse statistique des résultats, sur base d’un modèle mixte montre que les effets liés à la

certification bio ne sont pas significatifs pour VESS. Il est important d'ajouter que la normalité n'est pas tout à fait satisfaite dans ces modèles.

Tableau 16 : Résultat du test F (Prob. > F) du modèle mixte utilisant le facteur fixe (AC/ABC) pour expliquer les scores de la méthode VESS.

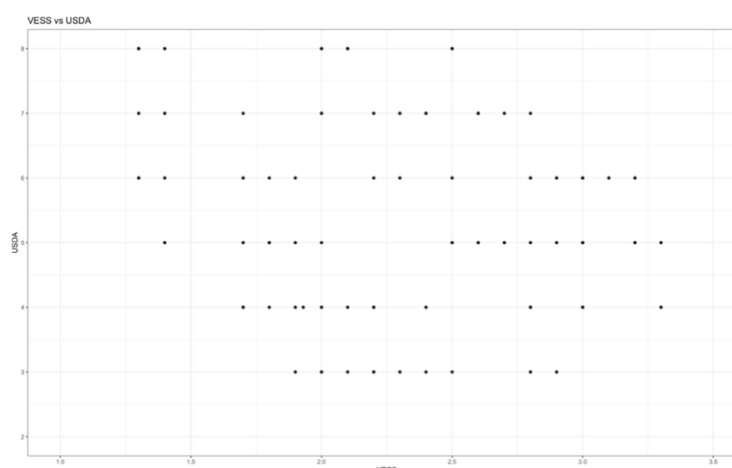
Tests des effets fixes	Degré de liberté du numérateur	Degré de liberté du dénominateur	Rapport F	Prob. > F
AC / ABC	1	109,1	0,6465	0,4231

Relation entre les méthodes VESS et USDA

La corrélation entre les méthodes de mesure, USDA et VESS, a été testée en deux étapes. Tout d'abord, une observation visuelle du nuage de points représentant la relation entre les deux mesures permet de distinguer une très faible corrélation négative entre celles-ci, représentée par la figure ci-dessous.

Il est important de rappeler que l'échelle de scores de la méthode USDA varie de 1 à 8, d'une mauvaise structure à une bonne structure, tandis que l'échelle de la méthode VESS varie de 1 à 5, d'une bonne structure à une mauvaise structure. C'est pourquoi, il est normal que les deux mesures suivent une corrélation négative.

Figure : Nuage de points représentant la relation entre la mesure VESS et la mesure USDA.



De plus, cette faible corrélation négative observée entre les méthodes de mesure est confirmée via le coefficient de corrélation de Pearson ainsi qu'un rejet de l'hypothèse nulle, décrite dans la section précédente.

Tableau : Coefficient de corrélation et p-valeur associée entre la méthode VESS et USDA.

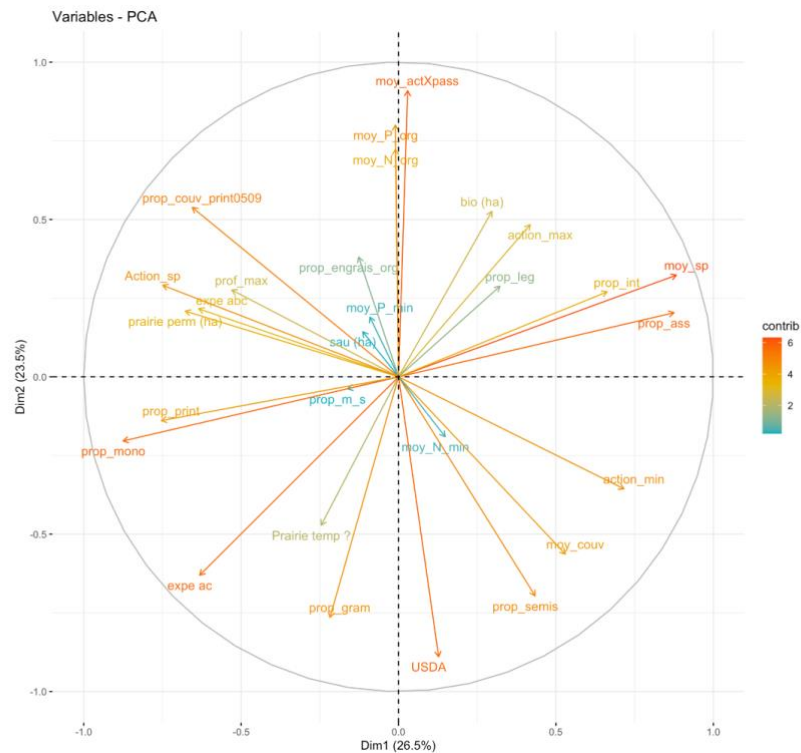
Méthodes	Coefficient de corrélation	P-valeur
VESS VS USDA	-0.1890	0.04128

De plus, le coefficient de corrélation de Pearson ne permet pas de rejeter l'hypothèse de non-corrélation des deux méthodes. Cependant, le nuage de points montre que leur corrélation, si elle existe, est assez faible. Cela pourrait s'expliquer par l'hypothèse suivante : même si elles mesurent toutes les deux la structure du sol, la méthode VESS fait la mesure sur une couche de 30 cm, tandis que les agrégats de la méthode USDA ont été prélevés en surface uniquement. Or, les propriétés du sol peuvent varier en fonction des couches de sols.

Critique de la méthodologie : mesure VESS

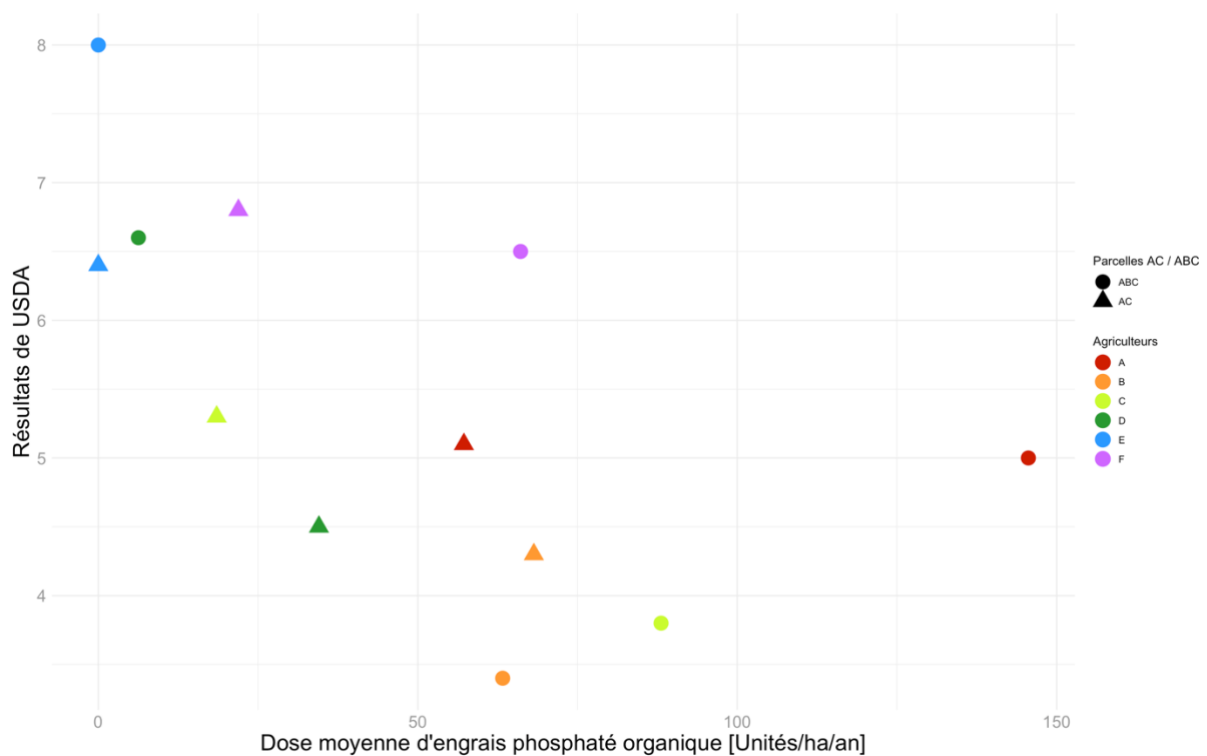
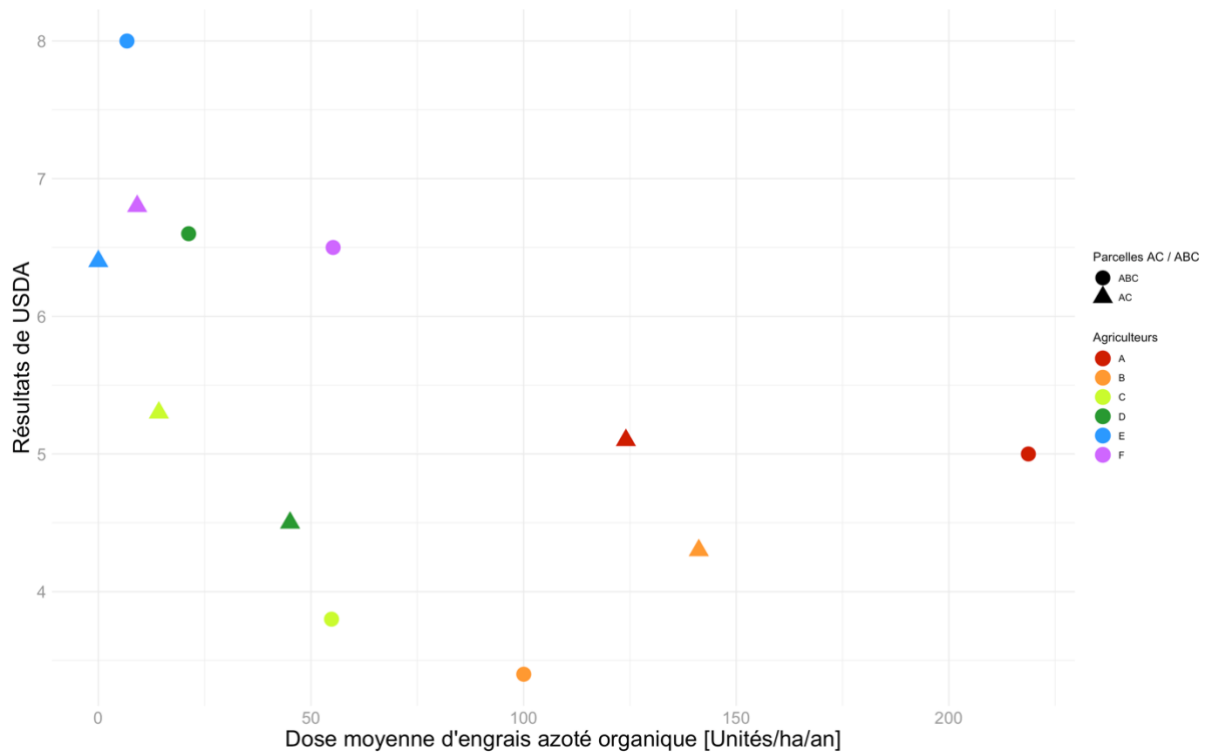
Concernant la méthode VESS, les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence des différences intéressantes dans le cadre de cette étude, c'est pourquoi ils ont été renvoyés en annexe. Une hypothèse à cela est que cette mesure, établie sur une échelle de cinq scores, n'est pas adaptée à une comparaison de notre type, se détachant de biais tels que le type de sol, l'agriculteur et en étant dans des systèmes sensibilisés des deux côtés à l'Agriculture de Conservation. Ainsi, une comparaison de parcelles présentant des différences plus flagrantes, telles qu'une prairie et un sol labouré, serait sans doute mieux expliquée par la méthode VESS.

Annexe 6 : Analyse en composantes principales (ACP)



Analyse en composantes principales des variables : Des flèches allant dans la même direction indiquent que les variables sont positivement liées. Des flèches allant dans des directions opposées indiquent qu'elles sont négativement liées. Et, finalement, des flèches perpendiculaires indiquent qu'elles ne sont pas liées.

Annexe 7 : Corrélation entre engrais organiques azotés et phosphatés et USDA



Annexe 8 : exemple de localisation des mesures en champ, sur les deux parcelles d'un agriculteur



Localisation des placettes des mesures en champ, sur les parcelles certifiées (ABC) et non-certifiées (AC) d'un agriculteur rencontré. Les points rouges correspondent à la localisation des placettes expérimentales, les lignes jaunes sont les délimitations de la carte numérique des sols de Wallonie. (Source : SPW).

Annexe 9 : Classification des cultures en termes d'exigence en travail du sol, selon Max Morelle et Jérôme Braibant (2018)

Tableau 2.2 – Les principales cultures rencontrées dans les rotations en Wallonie

Culture	Type		Récolte		Exigence en travail du sol			Position	
	<i>Printemps</i>	<i>Hiver</i>	<i>Été</i>	<i>Automne</i>	<i>Faible</i>	<i>Intermédiaire</i>	<i>Forte</i>	<i>Tête</i>	<i>Fin</i>
<i>Céréales</i>	✓	✓	✓		✓				✓
<i>Colza</i>		✓	✓			✓		✓	
<i>PDT</i>	✓			✓			✓	✓	
<i>Betterave</i>	✓			✓		✓	✓	✓	
<i>Chicorée</i>	✓			✓		✓	✓	✓	
<i>Lin</i>	✓		✓			✓		✓	
<i>Maïs</i>	✓			✓		✓		✓	
<i>Légumes</i>	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
<i>CIPAN</i>		✓			✓				

Références bibliographiques

Agnan, Y. (2020a, 2021). *Dégradations et protection des sols*. LBIR1336 - Sciences du sol et excursions.

Agnan, Y. (2020b, 2021). *Propriétés et processus physiques des sols*. LBIR1336(B) | Sciences du sol et excursions intégrées.

Antier, C., Andersson, R., Auskalnienė, O., Barić, K., Baret, P., Besenhofer, G., Calha, I., Carrola Dos Santos, S., De Cauwer, B., Chachalis, D., Dorner, Z., Follak, S., Forristal, D., Gaskov, S., Gonzalez Andujar, J. L., Hull, R., Jalli, H., Kierzek, R., & al. (2020). *A survey on the uses of glyphosate in European countries*. <https://doi.org/10.15454/A30K-D531>

Aune, J. B. (2012). Conventional, Organic and Conservation Agriculture : Production and Environmental Impact. In E. Lichtfouse (Éd.), *Agroecology and Strategies for Climate Change* (p. 149-165). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_7

Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., & Griffis, T. J. (2007). Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>

Beudelot, A., & Gallez, A. (2021). *Les chiffres du BIO 2020*. Biowallonie. https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2021/06/Biowallonie_ChiffresBio-2020.pdf

Benoit, M., Tchamitchian, M., Penvern, S., Savini, I., & Bellon, S. (2017). Potentialités, questionnements et besoins de recherche de l'Agriculture Biologique face aux enjeux sociétaux. *Économie rurale*, 361, 49-69. <https://doi.org/10.4000/economierurale.5309>

Bielders, C. (2020). *LBRAI2221—Mécanisation Agricole*. Le travail du sol.

Biot, N., Leveau, L., & Bertin, P. (2020). *Comparaison de méthodes d'évaluation de la fourniture du service écosystémique de la stabilité structurale sur des sols limoneux et limono-sableux en Belgique*. Université catholique de Louvain.

Braibant, J., & Morelle, M. (2018). *L'agriculture de Conservation en Wallonie—Diversité et verrouillages*. Université Catholique de Louvain.

Casagrande, M., Peigné, J., Payet, V., Mäder, P., Sans, F. X., Blanco-Moreno, J. M., Antichi, D., Bàrberi, P., Beeckman, A., Bigongiali, F., Cooper, J., Dierauer, H., Gascoyne, K., Grosse, M., Heß, J., Kranzler, A., Luik, A., Peetsmann, E., Surböck, A., ... David, C. (2016). Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. *Organic Agriculture*, 6(4), 281-295. <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0136-0>

Chabert, A., & Sarthou, J.-P. (2020). Conservation agriculture as a promising trade-off

between conventional and organic agriculture in bundling ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106815. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106815>

Chenu, C., A. Angers, D., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). *Increasing organic stocks in agricultural soils_ Knowledge gaps and potential innovations*. 12.

Climat.be. (s. d.). Klimaat | Climat. Consulté 14 mars 2021, à l'adresse <https://climat.be>

Connor, D. J. (2008). Organic agriculture cannot feed the world. *Field Crops Research*, 106(2), 187-190. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.11.010>

Contrôle et certification—Portail de l'agriculture wallonne. (s. d.). Consulté 23 juin 2021, à l'adresse <https://agriculture.wallonie.be/certification>

Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., Peigné, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M., Crowley, O., David, C., De Vliegheer, A., Döring, T. F., Dupont, A., Entz, M., Grosse, M., Haase, T., Halde, C., ... Mäder, P. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks : A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0354-1>

Corsi, S., & FAO (Éds.). (2012). *Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture : A literature review*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Draye, X., & Govaerts, B. (2019). *BIRA2101—Biométrie—Ch08. Modèles linéaires mixtes*. Université Catholique de Louvain.

EUR-Lex—32018R0848—EN - EUR-Lex. (s. d.). Consulté 17 juin 2021, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/fra>

FAO. (s. d.-a). *CA adoption | Conservation Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Consulté 22 juin 2021, à l'adresse <http://www.fao.org/conservation-agriculture/impact/ca-adoption/en/>

FAO. (s. d.-b). *Changement climatique | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*. Consulté 21 juin 2021, à l'adresse <http://www.fao.org/climate-change/fr/>

FAO. (s. d.-c). *Propriétés biologiques*. Portail d'information sur les sols. Consulté 8 novembre 2020, à l'adresse <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/proprietes-du-sol/proprietes-biologiques/fr/>

FAO. (s. d.-d). *Santé des sols—Physique*. Portail d'information sur les sols. Consulté 16 août 2021, à l'adresse <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/indicateurs-et-evaluation-de-la-sante-des-sols-du-monde/sante-des-sols-physique/fr/>

FAO. (2019). *L'action de la FAO face au changement climatique*. 40.

Ferdinand, M., Baret, P., & Bertin, P. (2019). *Agriculture de conservation et glyphosate : Diversité, stratégies et verrouillages en Région wallonne*.

Ferdinand, M. S., & Baret, P. V. (2021). *An operational definition of Conservation Agriculture to categorize the diversity of models in a given territory*.

Fleury, P., Chazoule, C., & Peigné, J. (2014). Ruptures et transversalités entre agriculture biologique et agriculture de conservation. *Économie rurale*, 339-340, 95-112. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4247>

Food & Agriculture Organization. (2020). *Conservation Agriculture : Training Guide for Extension Agents and Farmers in Eastern Europe and Central Asia*.

Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mader, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N. E.-H., & Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226-18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

Guimarães, R. M. L., Ball, B. C., & Tormena, C. A. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure : Visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, no-no. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>

IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*.

IPCC. (2019). *Climate Change and Land : An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.

Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29-51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>

Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of Conservation Agriculture : Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(4), 292-320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>

Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Légumineuse - Dictionnaire de français Larousse*. Consulté 12 août 2021, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/l%C3%A9gumineuse/46609>

Laurent, F., Roger-Estrade, J., & Labreuche, J. (2014). *Faut-il travailler le sol ? : Acquis et innovations pour une agriculture durable*. Quae.

Leifeld, J., Angers, D. A., Chenu, C., Fuhrer, J., Kätterer, T., & Powlson, D. S. (2013). Organic farming gives no climate change benefit through soil carbon sequestration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11), E984-E984. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220724110>

Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2010). Organic Farming and Soil Carbon Sequestration : What Do We Really Know About the Benefits? *AMBIO*, 39(8), 585-599. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0082-8>

Lugen, M. (s. d.). *Petit guide de méthodologie de l'enquête*. Université Libre de Bruxelles (ULB).

Maclaren, C., Labuschagne, J., & Swanepoel, P. A. (2021). Tillage practices affect weeds differently in monoculture vs. Crop rotation. *Soil and Tillage Research*, 205, 104795. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104795>

Mäder, P., & Berner, A. (2012). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 7-11. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000470>

Melander, B., Charles, R., & Munier-Jolain, N. (2013). *European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops*.

Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Hong, S. Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder, V. L., ... Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

Morelle, M. (2020, octobre 27). *Le CRA-W et l'Agriculture Biologique*. Présentation UCLouvain (cours).

Olander, L. (2014). Synthesis : The status and potential for improved agricultural greenhouse gas quantification. *Environ. Res. Lett.*, 9.

Olander, L., Wollenberg, E., Tubiello, F., & Herold, M. (2013). Advancing agricultural greenhouse gas quantification *. *Environmental Research Letters*, 8(1), 011002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/011002>

Peigné, J., Ball, B. C., Roger-Estrade, J., & David, C. (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management*, 23(2), 129-144. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x>

Peigné, J., Casagrande, M., Payet, V., David, C., Sans, F. X., Blanco-Moreno, J. M., Cooper, J., Gascoyne, K., Antichi, D., Bàrberi, P., Bigongiali, F., Surböck, A., Kranzler, A., Beeckman, A.,

Willekens, K., Luik, A., Matt, D., Grosse, M., Heß, J., ... Mäder, P. (2016). How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 31(1), 72-85. <https://doi.org/10.1017/S1742170514000477>

Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., ... Chemineau, P. (2017). Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy*, 77, 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.003>

Pisante, M., Stagnari, F., Acutis, M., Bindi, M., Brilli, L., Di Stefano, V., & Carozzi, M. (2015). Conservation Agriculture and Climate Change. In M. Farooq & K. H. M. Siddique (Éds.), *Conservation Agriculture* (p. 579-620). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11620-4_22

Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change : A critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42-55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x>

Prosensols. (2012). *Projet INTERREG « PROSENSOLS »*. <http://www.paysdescollines.be/brochures-sol.html?lang=fr>

Protect'eau. (s. d.). *Protecteau » Composition des engrais de ferme*. Consulté 31 juillet 2021, à l'adresse https://protecteau.be/fr/nitrate/agriculteurs/engrais-de-ferme/teneurs-engrais-de-ferme?fbclid=IwAR1aU4tvgm5zZEMdrf_3WjSr6KvUSTIA76hERda-ZtbWvuEcwzLRcjbOai4

Reboud, X., Blanck, M., Aubertot, J.-N., Jeuffroy, M.-H., Munier-Jolain, N., & Thiollet-Scholtus, M. (2017). *Glyphosate use and alternatives in French agriculture* (p. 83). INRA.

Scialabba, N. E.-H., & Müller-Lindenlauf, M. (2010). Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(2), 158-169. <https://doi.org/10.1017/S1742170510000116>

Smith, P., Falloon, P., Franko, U., Körschens, M., Lal, R., Paustian, K., Powlson, D., Romanenkov, V., Shevtsova, L., & Smith, J. (2007). Greenhouse Gas Mitigation Potential in Agricultural Soils. In J. G. Canadell, D. E. Pataki, & L. F. Pitelka (Éds.), *Terrestrial Ecosystems in a Changing World* (p. 227-235). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32730-1_18

Sommer, R., Thierfelder, C., Tittonell, P., Hove, L., Mureithi, J., & Mkomwa, S. (2014). Fertilizer use should not be a fourth principle to define conservation agriculture. *Field Crops Research*, 169, 145-148. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.012>

SPW. (2019). *Chiffres clés de l'agriculture wallonne*. https://etat-agriculture.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAW-A_I_a_2.html

Vandaele, D., Lebreton, A., & Faraco, B. (2010). *Agriculture et gaz à effet de serre : état des lieux et perspectives*. 72.

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>

WalOnMap. (s. d.). Consulté 29 mars 2021, à l'adresse <http://geoportail.wallonie.be/walonmap>

Contrainte de la certification bio en Agriculture de Conservation en Wallonie dans un contexte de changements climatiques

Présenté par Pauline Cassart

Sécheresses, inondations, vagues de chaleur... le dérèglement climatique est à nos portes. Dans ce contexte, l'agriculture est face à deux défis : atténuer son impact sur les changements climatiques actuels et s'y adapter. Pour ce faire, des modes de production plus durables se développent, l'Agriculture Biologique (AB) et l'Agriculture de Conservation (AC) en font partie. Cependant, ces deux systèmes agricoles présentent des choix techniques différents : tandis que l'un bannit tout intrant de synthèse, s'appuyant notamment sur le labour, l'autre s'affranchit de ce dernier, en restant majoritairement dépendant des intrants de synthèse, et en particulier du glyphosate. Cette tension, soulevée par Braibant et Morelle (2018) et approfondie ensuite par Ferdinand et al. (2019), freine la convergence de ces deux modèles vers la construction d'une Agriculture Biologique de Conservation (ABC).

Ce mémoire s'inscrit dans l'objectif global d'étudier la contrainte de la certification bio sur les pratiques de l'AC dans un contexte de changements climatiques, en Wallonie. Trois sous-objectifs en découlent : (i) identifier la diversité de changements dans les pratiques de l'AC, lors de l'adoption de la certification bio, (ii) mesurer l'effet de ces changements sur la structure du sol, et finalement (iii) identifier les motivations et freins à l'adoption de la certification bio en AC ainsi que la vision de l'avenir de l'exploitation des agriculteurs rencontrés. Ces objectifs ont été atteints grâce à deux portes d'entrée : d'une part, via la réalisation d'entretiens semi-dirigés auprès de six agriculteurs wallons, pratiquant l'AC sur toutes les parcelles de l'exploitation et dont certaines sont certifiées bio, d'autre part, via la réalisation d'une mesure en champ, permettant une caractérisation rapide de la structure du sol sur les parcelles concernées.

Les résultats de l'étude montrent tout d'abord une diversité de changements dans les pratiques des six agriculteurs rencontrés lors de l'adoption de la certification bio en AC. Les agriculteurs rencontrés sont classés en deux catégories : la première regroupe les agriculteurs cultivant des cultures exigeantes en travail du sol, entraînant une réduction de la relation à l'AC. La deuxième catégorie regroupe des agriculteurs cultivant des cultures peu exigeantes, leur permettant de maintenir une relation élevée avec l'AC. Cette dernière montre qu'une forme d'ABC est possible en Wallonie.

Ces deux grandes catégories indiquent que le choix de la culture prime sur le choix du modèle, AC ou ABC, et par conséquent sur l'utilisation ou non d'intrants de synthèse tels que le glyphosate, pour maintenir une relation élevée avec l'AC.

Finalement, les résultats montrent une corrélation négative entre intensité de travail du sol et qualité structurale du sol. Bien qu'il semblerait que, à cultures identiques, le modèle AC maintienne une meilleure structure du sol en comparaison à l'ABC, le choix des cultures permet de contrebalancer l'effet du modèle sur la structure du sol. Nos habitudes alimentaires seraient-elles la clef de la santé de nos sols ?

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Faculté des bioingénieurs

Croix du Sud, 2 bte L7.05.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/agro