

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION DANS
LES GRANDES CULTURES DE MAÏS ET SOJA AU QUÉBEC

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DOCTORAT EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

GUY MARTIAL TAKAM FONGANG

SEPTEMBRE 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Cette thèse a bénéficié du soutien financier, académique, moral et spirituel de nombreuses personnes dont je tiens à remercier à travers cette tribune.

Je tiens à remercier tout d'abord mes directeurs de thèse, Charles Séguin et Jean-François Guay, pour leur encadrement, leur disponibilité, leurs conseils et leur soutien financier. Vous avez guidé mes pas de la conception à la réalisation de cette thèse de doctorat. Vos nombreux commentaires et suggestions ont grandement contribué à l'amélioration de la qualité de ce travail de recherche.

Je tiens à remercier également Marc Lucotte pour ses nombreux commentaires après mes différentes présentations. Tes premiers commentaires au tout début de la thèse ont fortement contribué à l'orientation de cette thèse. Tes conseils ont également contribué à améliorer la qualité de mes présentations. J'ai encore en mémoire l'un de tes précieux conseils : « la présentation est un spectacle ».

Je veux aussi remercier Lota Dabio Tamini pour ses différents commentaires et suggestions sur le projet de thèse et mon examen doctoral.

Je dis également un gros merci à Matthieu Moingt, Jérôme Bernier Brillon, Louis Pérusse, Line Bilodeau, William Overbeek, Diego Callaci Trottier ainsi qu'à tous les membres du projet MYFROG pour leurs différents commentaires après mes présentations lors de nos rencontres. Vous m'avez bien accueilli dans le projet MYFROG et vous avez facilité mon intégration au Québec. Je remercie également Tchoufong Tchankwe Valerie, Litchepah Tambo Christian et Tene Fopokam Magloire pour leurs commentaires et suggestions.

Merci à Djobeth Christelle, Mbah Ndeffo Myriane, Kuetche Serge Ludovic, Kengne Ndeffo Mathias, Soh Bebe Emmanuel, Tatkeu Njike Hervé Martial, Noël Song, Kamdem Hermame et toute ma nouvelle fratrie du Québec pour leurs différents soutiens financiers et moraux. Vous avez guidé mes pas au Québec et j'ai toujours passé des moments heureux à vos côtés.

Merci à mes parents Fongang Charles et Magne Lucienne, et à tous mes frères et sœurs Kengne Fongang Ynes Claire, Tene Fongang Christophe, Kamgne Fongang Christian, Makou Fongang Nadège, Wafeu

Fongang Socrate, Magne Eugénie et Feussi Pierre pour leurs différents soutiens multiformes malgré la distance qui nous sépare. Vos prières et vos encouragements m'ont permis de mener à bout ce travail de recherche.

Mes remerciements les plus profonds vont à mon épouse Mbruko Takougang Ambrosine, qui m'écoute, m'appuie et m'encourage au quotidien. Tu es arrivée dans ma vie vers la fin de mon cursus doctoral, mais tes conseils et tes encouragements m'ont permis de me concentrer sur ma thèse afin de respecter l'échéancier de dépôt.

DÉDICACE

Je dédicace cette thèse à mes parents, Fongang Charles et Magne Lucienne qui m'ont toujours soutenu dans mes études depuis l'école maternelle jusqu'au doctorat.

AVANT-PROPOS

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet MYFROG (*Maintaining high yields in Quebec field crops while reconsidering the option of using glyphosate*) sous la supervision des professeurs Charles Séguin et Jean-François Guay qui sont respectivement directeur et co-directeur de la thèse. Cette thèse a été financée essentiellement par le projet MYFROG qui lui-même a bénéficié d'une subvention de partenariat stratégique du conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. Cette thèse est constituée de trois articles (chapitre 3, 4 et 5), d'un cadre théorique (chapitre 1), d'un cadre méthodologique (chapitre 2), d'une discussion générale des résultats de la thèse (chapitre 6), d'une introduction générale et d'une conclusion générale de la thèse. Toute la thèse est rédigée en français excepté les trois articles de la thèse qui sont rédigés en anglais. L'auteur de la thèse est l'auteur principal des trois articles qui constituent cette thèse. Les contributions des co-auteurs des articles de cette thèse sont présentées ci-dessous :

Article I (chapitre 3): Sustainability assessment of agricultural practices in Quebec: An application of multi-criteria decision analysis

Auteurs: Guy Martial Takam Fongang, Jean-François Guay et Charles Séguin.

Cet article est actuellement en révision à *Environmental and Sustainability Indicators*. L'article a été réalisé par l'auteur principal de l'article. Les co-auteurs ont assisté l'auteur principal au niveau de l'élaboration des guides d'entretien (Jean-François Guay et Charles Séguin), de la conduite des groupes d'entretien (Charles Séguin), du recrutement des participants aux groupes d'entretien (Jean-François Guay) et de la révision de l'article (Jean-François Guay et Charles Séguin).

Article II (chapitre 4): A composite index measuring adoption of conservation agriculture among maize and soybean farmers in Quebec.

Auteurs: Guy Martial Takam Fongang, Jean-François Guay et Charles Séguin.

Cet article a été publié dans *Agronomy* (*Agronomy* 2023. 13(3):777). L'auteur principal de l'article a réalisé l'étude sous la supervision de Jean-François Guay et Charles Séguin. Il a notamment élaboré le

questionnaire et le guide d'entretien, collecté et analysé les données et enfin rédigé l'article. Charles Séguin a participé à l'élaboration du questionnaire et du guide d'entretien, à la réalisation des groupes d'entretien et à la révision de l'article. Jean-François Guay a participé à l'élaboration du questionnaire et du guide d'entretien et à la révision de l'article.

Article III (chapitre 5): What determines the adoption of conservation agriculture? Evidence from Quebec

Auteurs: Guy Martial Takam Fongang, Isambert Leunga Noukwé, Jean-François Guay et Charles Séguin.

Cet article a été publié à *Environmental Management*. L'article a été réalisé par le premier auteur sous la supervision de Charles Séguin et Jean-François Guay. Charles Séguin et Jean-François Guay ont participé à la conception du questionnaire et à la révision de l'article; et Isambert Leunga Noukwé a assisté l'auteur principal dans le calcul des paramètres de risque.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iv
AVANT-PROPOS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xii
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS	xiv
RÉSUMÉ	xv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE	5
1.1 Adoptions des innovations agricoles : Une revue théorique et empirique	5
1.1.1 Les principales théories de l'adoption des innovations.....	6
1.1.1.1 Théorie de l'adoption et de la diffusion des innovations	6
1.1.1.2 La théorie de l'action raisonnée	11
1.1.1.3 Théorie du comportement planifié	12
1.1.1.4 La théorie de l'acceptation de la technologie	13
1.1.1.5 Théorie de la valeur-croyance-norme	14
1.1.2 Les principaux facteurs d'adoption des innovations agricoles	15
1.2 Durabilité en agriculture : définition et mesure	19
1.2.1 Origine de l'agriculture durable	19
1.2.2 Modèle d'évaluation de la durabilité agricole	20
1.2.2.1 Modèles non holistiques.....	21
1.2.2.2 Modèles holistiques.....	22
1.2.3 Performance de l'agriculture de conservation : Éclairage à partir de la littérature.....	27
CHAPITRE 2 CADRE MÉTHODOLOGIQUE.....	31
2.1 Revue de la littérature	31
2.2 Choix des parties prenantes.....	31
2.3 Les groupes de discussion	33
2.4 La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).....	34
2.5 Agrégation des préférences des parties prenantes : La méthode PROMETHEE	35
2.6 Modélisation de l'adoption de l'agriculture de conservation.....	36

2.7 Sondage auprès des producteurs de maïs et soja	37
CHAPITRE 3 SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL PRACTICES IN QUEBEC: AN APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS	38
3.1 Introduction	40
3.2 Methodology.....	43
3.2.1 Identification of agricultural practices and sustainability indicators.....	44
3.2.2 Validation of sustainability indicators and agricultural practices.....	45
3.2.3 Weighting of sustainability indicators: Analytical hierarchy process	52
3.2.4 Evaluation of agricultural practices	55
3.2.5 Aggregation of preferences and ranking of agricultural practices	56
3.3 Results and discussion.....	60
3.3.1 Weighting of sustainability dimensions and indicators	60
3.3.2 Performances of agricultural practices.....	63
3.3.2.1 Environmental performance.....	64
3.3.2.2 Social performance	65
3.3.2.3 Economic performance.....	66
3.3.2.4 Global assessment	67
3.4 Conclusion.....	76
CHAPITRE 4 A COMPOSITE INDEX MEASURING ADOPTION OF CONSERVATION AGRICULTURE AMONG MAIZE AND SOYBEAN FARMERS IN QUEBEC	78
4.1 Introduction	80
4.2 Materials and methods	82
4.2.1 Data source	82
4.2.2 Modeling of partial adoption	83
4.2.3 Weighting of Principles of conservation agriculture: Analytical Hierarchy Process.....	85
4.3 Results.....	88
4.3.1 Weighting Process: The AHP results.....	88
4.3.2 Computing composite index of adoption of CA.....	90
4.4 Discussions	90
4.5 Conclusion.....	95
CHAPITRE 5 WHAT DETERMINES THE ADOPTION OF CONSERVATION AGRICULTURE? HOT EVIDENCE FROM QUEBEC	96
5.1 Introduction	98
5.2 Methodology of the study	102
5.2.1 Econometric model.....	102
5.2.2 Measuring the risk preference.....	104
5.2.3 Source of data	110
5.3 Results and discussion.....	110
5.3.1 Risk elicitation results	110

5.3.2 Econometric results	112
5.4 Conclusion.....	117
CHAPITRE 6 DISCUSSION GÉNÉRALE	119
6.1 Principales contributions	119
6.1.1 Contribution méthodologique	119
6.1.2 Contribution à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles.....	121
6.1.3 Contribution à l'analyse de l'adoption de l'agriculture de conservation	124
6.2 Limites et perspectives de la thèse	127
CONCLUSION GÉNÉRALE	129
ANNEXE A LETTRE D'INVITATION ET FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉS AUX PARTIES PRENANTES	132
ANNEXE B LETTRE D'INVITATION ET FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉS AUX EXPERTS	142
ANNEXE C DEFINITIONS OF PILLARS OF AGRICULTURAL PRACTICES	152
ANNEXE D GUIDE D'ENTRETIEN ET QUESTIONNAIRE DESTINÉS AUX PARTIES PRENANTES.....	153
ANNEXE E LIST OF EXPERTS	191
ANNEXE F GUIDE D'ENTRETIEN ET QUESTIONNAIRE DESTINÉS AUX EXPERTS.....	192
ANNEXE G GLOBAL FINAL RANKING OF AGRICULTURAL PRACTICES WITH JOB CREATED INDICATOR AS A MINIMIZING CRITERION	209
ANNEXE H DESCRIPTIVE STATISTIC OF UCIACA.....	210
ANNEXE I RANK OF FARMERS ACCORDING TO CIACA AND UCIACA.....	211
ANNEXE J COMPUTATION OF FARMER'S PERCEPTION REGARDING THE YIELD AND RISK OF CONSERVATION AGRICULTURE	215
ANNEXE K CORRELATION MATRIX.....	216
ANNEXE L QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX PRODUCTEURS DE MAÏS ET SOJA.....	217
ANNEXE M GLOBAL FINAL RANKING OF AGRICULTURAL PRACTICES WITH REDUCED PRIME PAID FOR BIOLOGICAL PRODUCTS	238
BIBLIOGRAPHIE.....	239

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Courbe de diffusion de l'innovation de Rogers	6
Figure 1.2 Schéma de la théorie de l'action raisonnée	12
Figure 1.3 Schéma de la théorie du comportement planifié	13
Figure 3.1: Number of farms under organic agriculture, conservation tillage, no-till and conventional tillage between 1991 and 2021 in Quebec	41
Figure 3.2: Farmland under conservation tillage, no-till and conventional tillage between 1991 and 2021 in Quebec (in hectare)	41
Figure 3.3: Methodological framework.....	44
Figure 3.4 Weighting process.....	55
Figure 3.5: The most sustainable agricultural practices.....	56
Figure 3.6: Environmental ranking of agricultural practices	65
Figure 3.7: Social ranking of agricultural practices	66
Figure 3.8: Economic ranking of agricultural practices	67
Figure 3.9: Global final ranking of agricultural practices	68
Figure 3.10: GAIA criteria	70
Figure 3.11: GAIA stakeholders	71
Figure 4.1: Trends in adoption of CA.....	91
Figure 5.1: CA cropland area (in million hectares) at the global and Canada levels.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Table 3.1 Agricultural system model.....	47
Table 3.2: Agricultural practices.....	48
Table 3.3: Sustainability indicators.....	50
Table 3.4: Saaty' scale	53
Table 3.5: Weights of sustainability dimensions.....	61
Table 3.6: Weights of sustainability indicators	62
Table 3.7: Overall performances of agricultural practices	63
Table 3.8: Stakeholders' final ranking of agricultural practices (PROMETHEE 2)	74
Table 3.9: Sensitivity analysis	75
Table 4.1: Descriptive statistics of key variables.....	82
Table 4.2: Principles of conservation agriculture	84
Table 4.3: Saaty's scale.....	87
Table 4.4: Weights of principles of conservation agriculture	89
Table 4.5: Descriptive statistics of CIACA.....	90
Table 4.6: Distribution of farmers according to trends.....	92
Table 4.7: Distribution of farmers according to the category of adopters	94
Table 5.1: Definition of variables used in the model	103
Table 5.2: The series of paired lotteries.....	106
Table 5.3: Switching point in series 1 and approximations of values of δ and σ	108
Table 5.4: Switching point in series 2 and approximations of values of δ and σ	109
Table 5.5: Descriptive statistics.....	110
Table 5.6: Distribution of switching points	111
Table 5.7 Econometric results.....	114
Table 5.8 Econometric results with interactions.....	116

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

AC	Agriculture de conservation
AFD	Agence française de développement
AHP	Analytic hierarchy process
CA	Conservation agriculture
CIACA	Composite index of adoption of conservation agriculture
CLUB	Agricultural advising club
CPVQ	Conseil des productions végétales du Québec
CT	Conventional tillage
CVAC	Critère de vie aquatique chronique
DMC	Direct seeding mulch-based cropping system
DRSA	Dominance rough set approach
DS	Direct seeding
EC	Economic indicator
ELECTRE	Elimination and choice expressing the reality
EN	Environmental indicator
FADQ	Financière agricole du Québec
FAO	Food and agriculture organisation of the United Nations
GAIA	Geometrical analysis for interactive aid
GDP	Gross domestic product
IDEA	Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles
IRPeQ-E	Indicateur de risque des pesticides du Québec, volet environnement
IRPeQ-S	Indicateur de risque des pesticides du Québec, volet santé
ISO	International Organization for Standardization
ISQ	Institut de la statistique du Québec
MAPAQ	Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec
MAUT	Muti attribute utility theory
Max	Maximum
MCDA	Multi-criteria decision analysis
MELCCFP	Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs
Min	Minimum
MRC	Regional county municipality
NGO	Non-governmental organization
NRC	National research council
NT	No-till
Obs	Observation
OF	Organic farming
ONGC	Office des normes générales du Canada
PCA	Principle of conservation agriculture
PFU	Perception de facilité d'utilisation
PROMETHEE	Preference ranking organisation method of enrichment evaluations

PU	Perception d'utilité
RISE	Response-inducing sustainability evaluation
RT	Reduced tillage
SAFA	Sustainability assessment of food and agriculture systems
SAFE	Sustainability assessment of farming and the environment
SCV	Semis direct sous couverture végétale permanente
SO	Social indicator
TAR	Théorie de l'action raisonnée
TCP	Théorie du comportement planifié
UCIACA	Uniform composite index of adoption of conservation agriculture
WCED	World commission on environment and development

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

CAD	Dollar canadien
CO2.eq	Équivalent en dioxyde de carbone
g	Gramme
Gt	Gigatonne
ha	Hectare
kcal	Kilocalorie
kg	Kilogramme
N	Azote
P	Phosphore

RÉSUMÉ

L'agriculture de conservation est apparue depuis quelques décennies comme une pratique alternative au travail conventionnel du sol pour limiter la dégradation des sols. Depuis son apparition dans les années 1970, les champs sous agriculture de conservation sont sans cesse croissants au fil des années, passant d'environ 106 millions d'hectares en 2008/2009 à plus de 205 millions d'hectares en 2018/2019 (Kassam *et al.*, 2022). Malgré cette croissance, le taux d'adoption de l'agriculture de conservation au niveau mondial reste encore marginal, estimé à environ 14,7 % en 2018/2019. En plus de cette faible adoption de l'agriculture de conservation, il existe encore de nombreuses zones d'ombre concernant la durabilité de l'agriculture de conservation, l'identification de ses adoptants et les facteurs d'adoption. L'objectif général de la thèse est donc d'analyser l'adoption et la durabilité de l'agriculture de conservation. L'agriculture de conservation est définie ici comme étant une pratique agricole qui est caractérisée par l'application des trois principes suivants : une absence du travail du sol ou travail minimum du sol, une couverture végétale permanente du sol et une association et/ou rotation culturale (Kassam *et al.*, 2018). La durabilité quant à elle traduit la capacité d'un système agricole à répondre aux besoins sociétaux actuels et futurs en termes de nourritures, fibres, services écosystémiques et vie en santé, le tout obtenu en maximisant les bénéfices nets de la société lorsque tous les bénéfices et coûts du système agricole sont pris en compte (Tilman *et al.*, 2002).

Le premier chapitre de la thèse utilise la méthode PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations*) et deux groupes de discussion dont un avec les parties prenantes du système agricole et l'autre avec les experts pour analyser la durabilité de 36 pratiques agricoles potentiellement observables dans les grandes cultures au Québec. Les résultats identifient dans l'ordre décroissant les pratiques de conservation suivantes comme étant les pratiques agricoles les plus durables : agriculture de conservation AC₁ (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant organique), AC₂ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant organique), semis direct sous couverture végétale permanente SCV (Semis direct + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique), AC₃ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique) et AC₄ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant chimique). Les résultats montrent également que les meilleures pratiques dans la dimension économique sont AC₁ et AC₂. Ces deux pratiques agricoles ont des performances économiques similaires et sont suivies respectivement par les pratiques agricoles AC₃, AC₄ et SCV. Les résultats montrent aussi que les meilleures pratiques agricoles dans l'ordre décroissant sont respectivement dans la dimension sociale AC₂, AC₃, SCV, AC₁ et AC₄; et dans la dimension environnementale AC₁, SCV, AC₂, AC₄ et AC₃. L'étude encourage donc l'adoption des pratiques agricoles basées sur les principes de l'agriculture de conservation pour atteindre la durabilité du secteur agricole. La promotion devrait d'abord se concentrer sur les pratiques d'agriculture de conservation biologique (CA₁ et CA₂) qui ont montré une plus grande durabilité par rapport aux autres pratiques de l'agriculture de conservation (SCV, CA₃ et CA₄).

Le deuxième chapitre de la thèse propose un nouvel indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation permettant de mesurer le niveau d'adoption de l'agriculture de conservation des producteurs de maïs et soja au Québec. Le nouvel indice a été construit à partir du développement d'un modèle d'adoption partielle de l'agriculture de conservation à l'échelle de la parcelle et de la ferme. À partir des données collectées auprès de 144 producteurs de maïs et soja québécois, le nouvel indice révèle que 77,1 % des producteurs de maïs et soja sont des adoptants partiels de l'agriculture de conservation

contre 21,5 % et 1,4 % qui sont respectivement des adoptants complets et des non-adoptants de l'agriculture de conservation. De plus, les résultats montrent aussi que beaucoup de producteurs de maïs et soja québécois (38,9 %) ont une certaine flexibilité dans l'adoption de l'agriculture de conservation, c'est-à-dire qu'ils modifient leur niveau d'application des principes de l'agriculture de conservation d'une année à une autre. Il est donc important de tenir compte de la partialité et de la flexibilité dans l'adoption de l'agriculture de conservation si le législateur souhaite rétribuer équitablement les agriculteurs pour leur adoption de l'agriculture de conservation.

À partir des données collectées auprès de 93 producteurs de maïs et soja québécois, le troisième chapitre de la thèse utilise l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation de Takam Fongang *et al.* (2023) et un modèle Logit fractionnaire pour analyser les déterminants de l'adoption de l'agriculture de conservation. Les résultats montrent globalement que l'éducation, la possession d'un emploi non agricole et les bonnes perceptions de l'agriculteur sur les rendements et la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation ont des effets positifs sur l'adoption de l'agriculture de conservation. Ces résultats militent donc pour un plus grand soutien technique aux agriculteurs et un plus grand accès à l'éducation à travers les champs-écoles afin d'accroître le taux d'adoption de l'agriculture de conservation.

Mots clés : Pratiques agricoles, durabilité agricole, analyse multicritère, agriculture de conservation, adoption, grandes cultures, Canada.

INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, on a assisté à une forte augmentation de la production agricole un peu partout dans le monde. Bien que dans certains pays, cette forte augmentation de la production agricole ait été portée par l'accroissement des espaces cultivés, dans la plupart des pays, cette forte augmentation de la production agricole a été le fruit de la hausse des rendements agricoles. Au Québec par exemple, entre 1966 et 2022, la production du maïs est passée de 29 000 tonnes à 3,56 millions de tonnes ; et le rendement du maïs de 4,1 tonnes/hectare à 9,9 tonnes/hectare (Statistics Canada, 2023). Cette forte croissance a permis de générer des recettes monétaires de plus en plus importantes, soit 726 millions de dollars canadiens en 2020 au Québec pour le maïs seulement (ISQ et MAPAQ, 2022).

Malgré cette bonne performance économique de l'agriculture, il est de plus en plus admis que cette forte croissance agricole est tributaire d'une forte utilisation des intrants à l'instar du glyphosate mais aussi des pratiques agricoles intensives qui ont des impacts négatifs sur l'environnement (Annett *et al.*, 2014; Mesnage *et al.*, 2015). Au niveau mondial, l'agriculture est responsable d'environ 10,7 Gt CO₂.eq par an, ce qui correspond à environ 19,8 % de l'ensemble des émissions anthropogéniques en 2019 (Tubiello *et al.*, 2022). La production alimentaire est responsable d'environ 32 % et 78 % de l'acidification terrestre globale et de l'eutrophisation (Poore et Nemecek, 2018). Au niveau du Québec, certaines études soulignaient déjà en 1990 que la détérioration de la structure du sol, la baisse de la matière organique et la surfertilisation (excès de phosphore ou de potassium) touchaient respectivement 90 %, 50 % et 60 % des terres cultivées (MAPAQ, 1990). Bien que cette situation se soit globalement améliorée depuis 1990, plusieurs sols agricoles font encore face aujourd'hui à des problèmes de compaction, de détérioration de la structure du sol, de manque d'aération et de capacité de diffusion des gaz et de baisse de la matière organique (Gasser *et al.*, 2023). Par exemple, Gasser *et al.* (2023) ont montré entre autres que sur les 25 groupes de sols étudiés au Québec, 18 ont des sols compactés, 12 font face à une baisse de la matière organique, 14 ont un niveau de saturation en phosphore plus élevé et 11 font face à un problème de détérioration de la structure du sol. D'autres études ont montré aussi une baisse du pourcentage de matière organique dans les sols agricoles au Québec, de 6,24 % à 5,64 % entre 2000 et 2017 (MAPAQ, 2020) d'une part; et la présence de pesticides et leurs dérivés dans la plupart des cours d'eau au Québec avec des concentrations pour certains pesticides (l'atrazine, le S-Métolachlore, le glyphosate, les

néonicotinoïdes, clothianidine etc.) dépassant même les critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques (Critère de vie aquatique chronique CVAC¹) d'autre part (Giroux, 2022).

Dans ce contexte, le défi aujourd'hui est la mise sur pied des systèmes agricoles qui permettraient de maintenir une profitabilité élevée tout en réduisant de manière significative les impacts négatifs sur l'environnement. Ces systèmes agricoles doivent être durables, c'est-à-dire des systèmes économiquement viables, socialement équitables et écologiquement soutenables. Ils peuvent encore se définir comme étant « des systèmes agricoles qui permettent de répondre aux besoins sociétaux actuels et futurs en termes de nourritures, fibres, services écosystémiques et vie en santé tous obtenus en maximisant les bénéfices nets de la société lorsque tous les bénéfices et coûts des pratiques sont pris en compte »² (Tilman *et al.*, 2002).

Plusieurs pratiques agricoles alternatives à l'instar du travail réduit du sol, du semis direct et de l'agriculture biologique ont été développées pour limiter les impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement et la santé humaine, mais jusqu'aujourd'hui il n'existe toujours pas de consensus sur quelle pratique est la plus durable. Bien que l'évaluation des performances du semis direct, travail réduit du sol, travail conventionnel et de l'agriculture biologique aient fait l'objet de nombreuses études (Afshar et Dekamin, 2022; Clark et Tilman, 2017; Król-Badziak *et al.*, 2021; PariharYadav, *et al.*, 2016; Verch *et al.*, 2009); peu d'études ont analysé la durabilité de ces pratiques agricoles lorsqu'elles sont utilisées en combinaison avec la rotation des cultures, les cultures intercalaires, les cultures de couverture; alors qu'on observe une adoption croissante de l'agriculture de conservation dans le monde au fil des années (Kassam *et al.*, 2018). Cette problématique constitue le troisième chapitre de la thèse dont l'objectif principal est d'évaluer la durabilité des pratiques agricoles en utilisant une analyse multicritère et une approche participative où différentes parties prenantes sont mises à contribution pendant le processus d'évaluation.

Dans le quatrième et le cinquième chapitre de la thèse, nous nous attardons sur l'agriculture de conservation qui est une pratique agricole caractérisée par trois principes à savoir : une absence du travail du sol ou du travail minimum du sol, une couverture végétale permanente du sol et une association et/ou rotation culturale (Kassam *et al.*, 2018). En effet, l'agriculture de conservation permet d'accroître

¹ C'est un critère qui donne la concentration maximale à ne pas dépasser pour protéger les organismes durant une exposition prolongée.

² Traduction de l'auteur

théoriquement la rentabilité et la durabilité des exploitations agricoles au moins à deux niveaux. Au niveau économique, l'agriculture de conservation permet de réduire le temps de travail et la main-d'œuvre, les coûts de carburant et d'intrants d'une part et de maintenir des niveaux de production proches des systèmes de production intensive (AFD, 2006; Kassam *et al.*, 2011). Au niveau agronomique, il favorise un environnement adapté à l'activité biologique, un accroissement du volume de matière organique, une conservation de l'eau dans le sol par l'accroissement du taux d'infiltration de l'eau et la diminution de l'évaporation, une structure du sol améliorée, un contrôle des adventices et maladies de plantes, une productivité accrue, et une atténuation des impacts du changement climatique (AFD, 2006; Ranaivoson *et al.*, 2017). Cette pratique a été développée au Brésil dans les années 1970 pour faire face aux problèmes d'érosion des sols (Kassam *et al.*, 2018). Depuis son apparition, le taux d'adoption de cette pratique est sans cesse croissant et est passé de 11 millions d'hectares en 1990 à 205 millions d'hectares sous agriculture de conservation en 2018/2019 ; ce qui correspond à 14,7 % de l'ensemble des terres cultivées en 2018/2019 dans le monde (Kassam *et al.*, 2022). Malgré cette croissance du taux d'adoption de l'agriculture de conservation, il existe encore de nombreuses controverses entourant la performance de l'agriculture de conservation d'une part et les facteurs d'adoption de cette pratique d'autre part. Par exemple, tandis que certains auteurs ont obtenu des effets positifs de l'adoption de l'agriculture de conservation sur les rendements agricoles (Kassie *et al.*, 2015) et les revenus des ménages (Tambo et Mockshell, 2018; Teklewold *et al.*, 2013), d'autres auteurs ont obtenu des effets négatifs ou non significatifs sur les rendements agricoles (Michler *et al.*, 2019). Au niveau des facteurs d'adoption, la littérature montre que les facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation diffèrent d'une étude à l'autre. Par exemple, alors que (Khonje *et al.*, 2018) ont identifié le recours aux fertilisants chimiques et organiques, le nombre de terres possédées et l'indice de pluies comme les principaux déterminants de l'adoption de l'agriculture de conservation CA à l'Est du Zimbabwe ; Abdulai (2016) a plutôt identifié le niveau d'éducation, l'accès au crédit, les dépenses de préparation du champ, la présence de l'érosion, la possession de la machinerie agricole, le contact avec les agents d'extension, l'appartenance à une association d'agriculteurs, le nombre de membres de la famille et d'amis avec qui l'agriculteur discute des affaires agricoles, la proximité avec le marché le plus proche, la qualité du sol, la perception de la facilité d'implémentation de l'agriculture de conservation et la zone de localisation de l'agriculteur comme principaux facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation en Zambie.

Malgré la pertinence de ces études, la plupart de ces études reposent généralement sur une approche dichotomique de l'adoption de l'agriculture de conservation où les agriculteurs sont généralement

considérés comme adoptants ou non-adoptants. Or cette approche suppose une adoption complète de la pratique qui est difficilement le cas dans la réalité, car les agriculteurs adoptent généralement partiellement les principes de l'agriculture de conservation (Grabowski et Kerr, 2013; Mango *et al.*, 2017). Les agriculteurs adoptent les principes de l'agriculture de conservation tout en restant flexibles afin de répondre aux incitatifs du marché ou de l'environnement biophysique (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012).

Ainsi, dans le quatrième chapitre de la thèse, nous proposons une approche innovante (un indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation) de mesure de l'adoption de l'agriculture de conservation qui tient compte de toute la complexité du phénomène. Cet indice est par la suite utilisé pour évaluer le niveau d'adoption de l'agriculture de conservation auprès des producteurs de maïs et soja québécois. Cet indice a également été utilisé dans le cinquième chapitre pour analyser les facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation au Québec. Dans ce dernier chapitre, nous posons l'hypothèse suivante : l'aversion au risque et l'aversion à la perte ont un effet négatif sur l'adoption de l'agriculture de conservation au Québec. Au-delà de la vérification empirique de la relation entre l'aversion au risque et à la perte et l'adoption de l'agriculture de conservation, le cinquième chapitre permet de comprendre de manière générale pourquoi certains agriculteurs adoptent l'agriculture de conservation et d'autres pas.

Avant l'étude proprement dite, nous présentons respectivement aux chapitres 1 et 2, le cadre théorique et le cadre méthodologique qui ont été mobilisés dans cette thèse. Les principaux résultats de cette recherche sont discutés au chapitre 6 de la thèse.

CHAPITRE 1

CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE

L'objectif de ce chapitre est de réaliser une revue théorique et empirique des travaux sur l'adoption des innovations agricoles et sur la durabilité des systèmes agricoles. Pour ce faire, nous avons organisé le chapitre autour de deux grandes sections. La première section présente les principales théories de l'adoption des innovations d'une part, et les principaux facteurs d'adoption des innovations agricoles qui ont été identifiés dans la littérature d'autre part. La deuxième section fait une revue du concept de durabilité en agriculture. Elle présente également les principales approches d'évaluation de la durabilité en agriculture et se termine par quelques travaux sur la performance de l'agriculture de conservation.

1.1 Adoptions des innovations agricoles : Une revue théorique et empirique

Les études sur les facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation s'inscrivent dans le champ plus large des études sur l'adoption des innovations. Les premiers travaux sur la question ont débuté dans les années 1900 avec le célèbre livre de Gabriel Tarde intitulé "Les Lois de l'imitation"³ publié en 1903, où l'auteur posait les bases de la théorie de la diffusion des innovations (Rogers, 1983). Pour Tarde, les lois de l'imitation qui sont à l'origine de la diffusion des innovations peuvent être d'ordre physique, comme l'influence du climat et de la géographie, ou d'ordre social (Djellal et Gallouj, 2017). Au niveau social, l'auteur distinguait d'une part les lois ou causes logiques, qui poussent une personne à imiter (ou adopter) une innovation parce qu'elle a de la valeur à ses yeux, et d'autre part les causes extra-logiques, qui émanent d'une appréciation subjective de l'innovation en fonction de ses origines individuelles, temporelles et spatiales. Les imitations opèrent selon deux mécanismes : les idées et buts sont imités avant les moyens et les expressions d'une part, et les innovations provenant des entités présumées supérieures sont généralement plus imitées que celles provenant des entités inférieures (Djellal et Gallouj, 2017).

Malgré la pertinence des écrits de Tarde, il a fallu attendre 40 ans pour que les études sur l'adoption des innovations prennent de l'ampleur (Rogers, 1983). Ce regain d'intérêt a été amorcé à la suite des travaux de (Ryan et Gross, 1943) en sociologie rurale sur la diffusion des hybrides de maïs. Depuis lors, de nombreux théoriciens de l'adoption des innovations se sont intéressés à la question. On peut citer, entre

³ Le titre original du livre de Gabriel Tarde est "the laws of imitation"

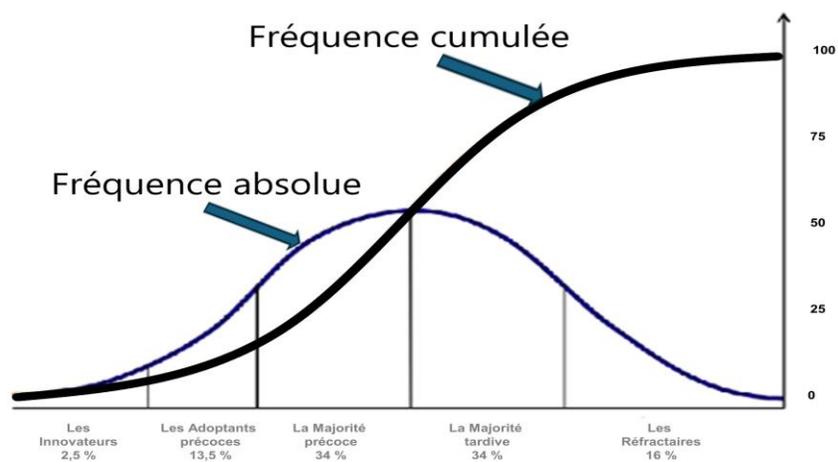
autres, la théorie de l'action raisonnée (TAR) (Fishbein et Ajzen, 1975), la théorie du comportement planifié (TCP) (Ajzen, Icek, 1991), le modèle de l'acceptation de la technologie (Davis, 1989), la théorie de l'adoption et de la diffusion des innovations (Rogers, 1983) et la théorie de la valeur-croyance-norme (Stern *et al.*, 1999). L'objectif de cette section est de présenter ces différentes théories et leurs applications dans la recherche des facteurs d'adoption des innovations agricoles.

1.1.1 Les principales théories de l'adoption des innovations

1.1.1.1 Théorie de l'adoption et de la diffusion des innovations

La théorie de la diffusion et de l'adoption des innovations a été développée par Rogers (1962) puis affinée au fil des années. Elle vise à expliquer le processus de diffusion et d'adoption des innovations. Pour ce faire, Rogers (1962) commence par distinguer la diffusion de l'innovation de l'adoption d'une innovation. Selon lui, la diffusion de l'innovation se déroule au niveau de la société, étant le processus par lequel une innovation est transmise au fil du temps par le biais de canaux spécifiques au sein d'une société. Rogers (1962) montre que la diffusion d'une innovation dans la société peut être représentée par une courbe en S (voir Figure 1.1). Il souligne qu'il existe plusieurs catégories d'adoptants pour chaque innovation : les innovateurs, les adoptants précoces, les adoptants majoritaires précoces, les adoptants majoritaires tardifs et les retardataires. Ces adoptants, classés en fonction du moment d'adoption de l'innovation, reflètent le processus de diffusion de l'innovation qui définit une courbe en S.

Figure 1.1 Courbe de diffusion de l'innovation de Rogers



Source : Rogers (1983)

Les innovateurs sont les premiers à adopter une innovation malgré les incertitudes. Ils sont considérés comme des aventuriers avides de nouvelles idées ou objets (Rogers, 2003). Ils n'ont pas besoin de voir que d'autres personnes ont adopté l'innovation avant de l'adopter. Ils sont généralement guidés par leurs propres convictions qui les poussent à adopter l'innovation malgré le risque inhérent à l'innovation en raison de son caractère nouveau.

Les adoptants précoces viennent après les innovateurs. Ils adoptent généralement l'innovation assez tôt, juste après les innovateurs. Ils sont respectés dans la communauté et ont une grande influence en son sein. Ils jouent un rôle important dans la diffusion de l'innovation car ils sont une source de conseils et d'information pour les adoptants potentiels de l'innovation (Rogers, 2003).

Les adoptants majoritaires précoces adoptent généralement l'innovation juste avant la majorité dans la société. Ils sont généralement motivés par le désir de ne pas être en retard par rapport aux autres et sont influencés par les expériences positives des premiers adoptants (Rogers, 2003).

Ensuite, nous avons les adoptants majoritaires tardifs qui adoptent l'innovation juste après la majorité des membres du système social. Ils sont sceptiques et ont besoin de preuves tangibles de la performance de l'innovation avant de l'adopter. Ils adoptent généralement l'innovation soit par nécessité économique soit sous la pression de leur entourage (Rogers, 2003).

Enfin, les retardataires sont les derniers à adopter l'innovation. Ils sont attachés aux traditions et sont averses au changement. Ils sont généralement en marge du réseau social qui forme le système social. Ils ont pour référence le passé et tendent à collaborer principalement avec les personnes qui partagent les mêmes valeurs traditionnelles qu'eux (Rogers, 2003).

Au niveau individuel, on parle plutôt de l'adoption de l'innovation. L'adoption de l'innovation, selon Rogers (1962), renvoie au processus mental par lequel un individu passe de la première information à propos de l'innovation à son adoption finale. Rogers résume le processus d'adoption de l'innovation en 5 étapes successives : la connaissance, la persuasion, la décision d'adopter ou de ne pas adopter l'innovation, l'implémentation et la confirmation. La connaissance est la première étape du processus d'adoption de l'innovation. Elle correspond à la phase au cours de laquelle l'individu prend connaissance de l'existence de l'innovation et cherche à en savoir plus à son sujet. La deuxième étape (la persuasion) correspond à l'étape où l'adoptant potentiel développe une attitude en faveur ou en défaveur de l'innovation. Dans

cette étape, l'individu se met activement à la recherche d'informations sur l'innovation afin de déterminer son intérêt et son utilité potentiel. Après la persuasion vient l'étape de la décision où l'adoptant potentiel s'engage dans des activités conduisant à l'adoption ou au rejet de l'innovation (Rogers, 1983). Cette décision d'adopter ou de ne pas adopter l'innovation est influencée par les caractéristiques de l'innovation, à savoir l'avantage relatif de l'innovation par rapport aux autres alternatives, la compatibilité de l'innovation avec nos valeurs, la complexité de l'innovation, la possibilité d'essayer l'innovation et l'observabilité des résultats de l'innovation. L'étape d'implémentation correspond à la phase où l'innovation est effectivement mise en œuvre. Même si la décision d'adopter l'innovation a déjà été prise par l'adoptant potentiel, il existe encore une certaine incertitude sur la performance de l'innovation. Ici, l'adoptant fait face à des défis opérationnels. Par exemple, il doit trouver où obtenir l'innovation, apprendre comment utiliser l'innovation. Enfin, au niveau de la confirmation, l'individu évalue les résultats de son adoption. S'il est satisfait des résultats, il va continuer à utiliser l'innovation. Dans le cas contraire, il va prendre la décision d'abandonner l'innovation et opter pour d'autres alternatives.

Cette définition suppose une certaine passivité de l'adoptant qui se contente seulement d'adopter l'innovation sans la modifier. Or, dans la réalité, les individus adoptent souvent les innovations en les adaptant à leur contexte. C'est le cas de l'agriculture de conservation, souvent adoptée par les agriculteurs avec une certaine flexibilité (Takam Fongang *et al.*, 2023). Ils adoptent les principes de l'agriculture de conservation tout en restant flexibles et prêts à abandonner certains principes en fonction des conditions biophysiques ou des incitations du marché (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). Cette situation a conduit Rogers (1983) à intégrer la notion de réinvention dans le processus d'adoption de l'innovation. La réinvention est l'ensemble des modifications apportées par l'utilisateur à l'innovation, lui permettant de mieux l'intégrer à sa réalité.

Rogers (1962) identifie au total cinq facteurs capables d'influencer le rythme d'adoption d'une innovation : les attributs de l'innovation, les canaux de communication de l'innovation, le type de décision, le système social et les agents de vulgarisation.

✓ Les attributs de l'innovation

Le premier facteur est lié aux attributs de l'innovation. Selon Rogers (1983), cinq attributs incluant l'avantage relatif de l'innovation par rapport aux autres alternatives, la compatibilité de l'innovation avec

nos valeurs, la complexité de l'innovation, la possibilité d'essayer l'innovation et l'observabilité des résultats de l'innovation déterminent le rythme d'adoption d'une innovation.

Le premier attribut est l'avantage relatif de l'innovation par rapport à celle qu'elle remplace. Cet avantage relatif peut être lié à la rentabilité économique de l'innovation, au prestige social qu'elle procure aux individus ou à tout autre bénéfice. Les innovations ayant donc un avantage relatif plus important auront tendance à être les plus adoptées. Le deuxième attribut est la complexité de l'innovation. Une innovation sera perçue comme complexe si les potentiels adoptants rencontrent des difficultés à comprendre les principes, le fonctionnement et l'utilisation de l'innovation. Une innovation perçue comme moins complexe sera adoptée plus rapidement (Rogers, 1983). Il est important de rappeler que le degré de complexité perçue d'une innovation varie d'un individu à l'autre et est déterminé en fonction du *Background* de l'individu. C'est ainsi que certaines innovations qui paraissent simples pour certains individus, peuvent être perçues comme complexes aux autres. Le troisième attribut qui influence l'adoption d'une innovation est la compatibilité de cette dernière avec les valeurs, les expériences passées et les besoins des utilisateurs potentiels. Les innovations qui épousent les normes et les valeurs du système social dans lequel elles évoluent, seront rapidement adoptées que celles qui n'épousent pas les valeurs et normes du système social (Rogers, 1983). Le quatrième attribut de l'innovation renvoie au degré d'observabilité des performances de l'innovation par les autres. Une innovation dont les bons résultats sont facilement visibles par les autres utilisateurs potentiels aura tendance à être plus adoptée. Enfin, le cinquième attribut renvoie à la possibilité d'essayer l'innovation. Cet attribut est très important dans le processus d'adoption de l'innovation dans la mesure où il permet à l'utilisateur potentiel de tester l'innovation avant son adoption. C'est ainsi que les innovations qui offrent la possibilité de les essayer ont tendance à être les plus adoptées.

✓ Les canaux de communication de l'innovation

Les canaux de communication jouent un grand rôle dans la diffusion et l'adoption des innovations car ils permettent de diffuser les informations sur les caractéristiques de l'innovation. La diffusion de l'information sur l'innovation peut être directe c'est-à-dire interpersonnelle à travers le bouche-à-oreille entre les individus ou indirecte via les médias (Rogers, 2003). La communication interpersonnelle implique le plus souvent une interaction entre un adoptant et un non-adoptant ou un adoptant potentiel. L'échange entre les deux acteurs est fonction du temps, de la proximité géographique mais aussi de la nature des

relations qu'ils entretiennent entre eux. Ainsi il a été démontré en agriculture que les agriculteurs adoptent plus facilement des innovations lorsqu'ils les reçoivent de personnes avec lesquelles ils ont des points communs (Feder et Slade, 1984). Plusieurs autres études ont montré que l'appartenance d'un agriculteur dans une organisation paysanne favorisait l'adoption des innovations agricoles (Tambo et Mockshell, 2018; Tamini, 2011; Teklewold *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019). Cette forme de communication est souvent très efficace pour convaincre les plus sceptiques car l'adoptant communique directement les informations sur les caractéristiques de l'innovation et les résultats obtenus. Dans la communication indirecte, les utilisateurs potentiels reçoivent les informations sur les caractéristiques de l'innovation via les médias comme la radio, la presse, la télévision, etc. Cette forme de communication permet de toucher un plus grand nombre d'utilisateurs potentiels.

- ✓ Le type de décision

Le type de décision d'adoption a également une influence sur le rythme d'adoption d'une innovation. Selon Rogers (1983), la décision peut être individuelle, collective ou hiérarchisée. Les innovations dont la décision d'adopter ou pas fait appel à plusieurs personnes dans le processus de prise de décision ont tendance à être moins adoptées que celles dont la prise de décision se fait à une échelle individuelle.

- ✓ Le système social

Le système social est un ensemble d'unités reliées entre elles et engagées dans des tâches communes visant à accomplir des objectifs communs. Les membres d'un système social peuvent être des individus, des groupes informels, des organisations, ou encore des sous-systèmes. La structure du système influence la diffusion des innovations de différentes manières, par ses normes, par le rôle de ses leaders d'opinion, etc.

- ✓ Les efforts promotionnels des agents de changement

Selon Rogers (1983), un agent de changement est une personne qui exerce une influence sur les clients afin qu'ils adoptent une innovation conformément aux souhaits d'une agence de changement. Son objectif principal est de promouvoir l'adoption d'une innovation spécifique, bien qu'il puisse également chercher à freiner la diffusion d'une autre. C'est ainsi que plusieurs études ont montré des effets positifs des agents

de changement sur l'adoption des innovations agricoles dans la littérature (Mango *et al.*, 2017; Tambo et Mockshell, 2018).

1.1.1.2 La théorie de l'action raisonnée

La théorie de l'action raisonnée (TAR), formulée par Fishbein et Ajzen (1975), cherche à décrypter et à prédire les choix individuels en matière de comportement. Selon cette théorie, la réalisation d'un comportement donné (ici représenté par l'adoption de l'agriculture de conservation) est déterminée par l'intention comportementale elle-même fonction de deux facteurs clés à savoir, les attitudes envers le comportement en question et les normes subjectives (sociales).

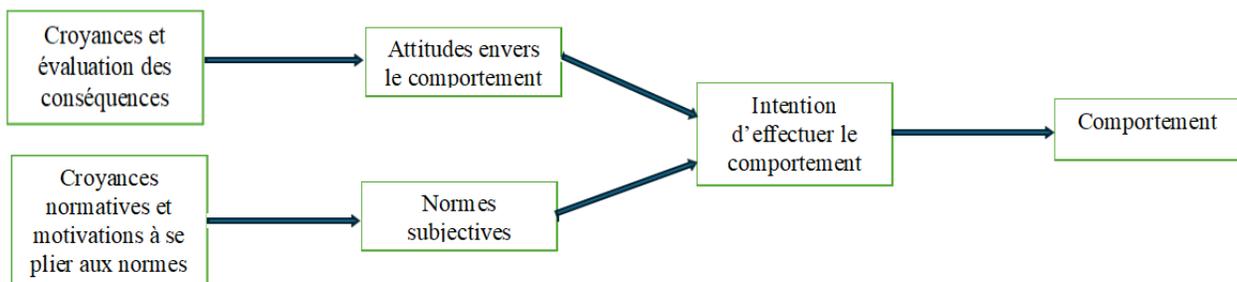
L'intention comportementale qui est au cœur de la TAR, traduit premièrement la volonté d'essayer un comportement spécifique (Ajzen, 2005) ou tout simplement représente le niveau d'effort qu'un individu est prêt à exercer pour réaliser le comportement. L'intention comportementale est elle-même déterminée par les attitudes individuelles envers ledit comportement ainsi que par les normes subjectives.

Les normes sociales perçues ou normes subjectives, quant à elles, reflètent la perception de l'individu quant à ce que les personnes importantes à ses yeux pensent qu'il devrait adopter ou ne pas adopter le comportement (Fishbein et Ajzen, 1975). Ces normes subjectives peuvent encore renvoyer à la pression sociale ressentie afin d'émettre d'adopter un comportement ou pas (Ajzen, 1991). Cette pression sociale ressentie en faveur d'un comportement ou non, provient de différentes sources telles que la famille, les amis ou d'autres figures d'autorité dans la communauté (Ajzen, 2005). Les normes subjectives sont donc formées à partir des croyances normatives qui traduisent d'une part la perception des pressions sociales ressenties par l'individu à l'égard du comportement et d'autre part par la motivation de l'individu à se conformer aux attentes des personnes importantes à ses yeux (Ajzen, 1991; Ajzen, 2005).

Les attitudes envers le comportement peuvent être définies comme étant les sentiments favorables ou défavorables d'un individu pour un comportement donné (Ajzen, 1991). Ces sentiments favorables ou défavorables sont formés à partir des croyances de l'individu quant aux conséquences de l'adoption du comportement, pondérées par l'importance accordée à ces conséquences par l'individu lui-même (Ajzen, 1991). Ainsi, selon cette théorie, un agriculteur avant de prendre sa décision d'adopter une innovation agricole comme l'agriculture de conservation va d'abord évaluer les avantages et les inconvénients d'adopter une telle innovation.

Malgré la pertinence de cette théorie, il faut noter que la TAR est seulement capable de prédire les comportements entièrement sous contrôle volontif individuel. La TAR ne permet donc pas de tenir compte dans l'analyse des facteurs externes pouvant influencer les comportements, tels que les contraintes pratiques (ressources et opportunités) (Ajzen, 1991). Cette limite a conduit Ajzen (1991) à développer la théorie du comportement planifié (TCP), offrant ainsi une perspective plus holistique sur les processus décisionnels.

Figure 1.2 Schéma de la théorie de l'action raisonnée



Source : Fishbein et Ajzen (1975)

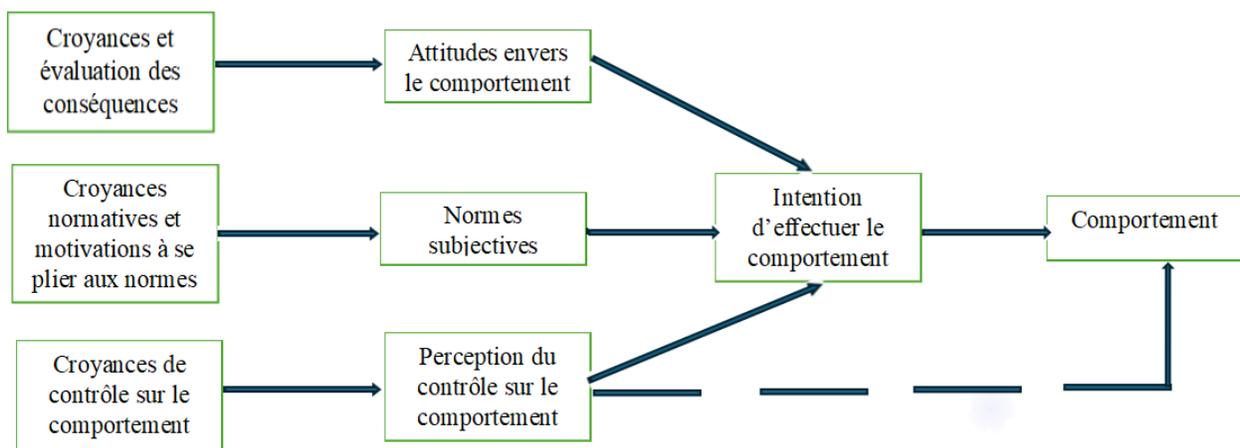
1.1.1.3 Théorie du comportement planifié

La théorie du comportement planifié (TCP) est une évolution de la théorie de l'action raisonnée qui a été développée pour prendre en compte à la fois les comportements qui ne relèvent pas entièrement du contrôle volontaire de l'individu et les comportements qui sont totalement sous contrôle volontaire de l'individu (Ajzen, 1991). Dans cette théorie, l'intention d'adopter le comportement n'est plus seulement fonction des normes subjectives de l'individu et des attitudes de l'individu envers le comportement comme c'était le cas avec la théorie de l'action raisonnée mais elle est également dépendante d'un troisième facteur, la perception du contrôle sur le comportement (Ajzen, 1991). Cette perception du contrôle sur le comportement renvoie à la perception par les individus du niveau de difficulté à réaliser le comportement (Ajzen, 1991). Elle est un facteur très important dans l'analyse car elle permet d'améliorer la prédictivité de la théorie du comportement planifié (Ajzen, 2005). La perception du contrôle sur le comportement peut aussi influencer directement le comportement et ceci pour au moins deux raisons. Indépendamment du niveau de motivation, les personnes qui sont confiantes de leur capacité à réaliser un comportement donné auront plus tendance à réaliser plus le comportement que celles qui ne le sont pas (Ajzen, 1991). La deuxième raison est liée au fait que la perception du contrôle sur le comportement

peut être considérée comme un substitut du contrôle réel sur le comportement qui conditionne la réalisation du comportement (Ajzen, 1991).

La perception du contrôle sur le comportement découle des croyances de contrôle, qui intègrent à la fois les conditions externes facilitant ou entravant l'adoption du comportement et la perception par l'individu de ses propres ressources et capacités (Ajzen, 1991; Ajzen, 2005). Les facteurs de contrôle qui déterminent la perception du contrôle sur le comportement peuvent être internes ou externes (Ajzen, 2005). Parmi les facteurs internes, on retrouve le niveau d'information, les compétences et les émotions, tandis que les facteurs externes incluent les opportunités disponibles et la dépendance aux autres. Ainsi, un individu ayant suffisamment de ressources et d'opportunités, et faisant face à peu d'obstacles, aura une perception élevée du contrôle sur le comportement, ce qui renforcera son intention d'adopter ce comportement (Ajzen, 1991).

Figure 1.3 Schéma de la théorie du comportement planifié



Source : Ajzen (2005)

1.1.1.4 La théorie de l'acceptation de la technologie

La théorie de l'acceptation de la technologie a été élaborée par Davis (1989) pour expliquer les comportements d'adoption des technologies de l'information. Pour cette théorie, le comportement est déterminé par l'intention comportementale qui elle-même dépend uniquement des attitudes de l'individu envers le comportement. Les attitudes envers le comportement sont elles-mêmes dépendantes de facteurs clés à savoir la perception d'utilité (PU) et la perception de facilité d'utilisation (PFU) (Davis, 1989).

Alors que la perception d'utilité (PU) renvoie à la conviction qu'a un individu que l'utilisation d'un système améliorerait sa performance ; la perception de facilité d'utilisation (PFU) quant à elle traduit le degré auquel un individu estime que l'utilisation de ce système serait aisée pour lui (Davis, 1989). Cette théorie a été largement utilisée dans la littérature pour expliquer l'adoption de nouvelles technologies en agriculture (Caffaro *et al.*, 2020; Dai et Cheng, 2022; Michels *et al.*, 2021). Par exemple Caffaro *et al.* (2020) ont utilisé la théorie de l'acceptation de la technologie pour expliquer l'intention d'adopter les technologies agricoles intelligentes telles que les drones, les capteurs, etc. en Italie. Michels *et al.* (2021) se sont aussi appuyées sur cette théorie pour expliquer l'intention des agriculteurs allemands d'adopter des drones en agriculture. Toutefois d'autres variables comme le bénéfice net perçu, la pertinence pour le travail, la confiance en ses capacités d'apprentissage et d'utilisation de la technologie, la taille de l'exploitation et le niveau d'éducation permettent avec la perception d'utilité (PU) et la perception de facilité d'utilisation (PFU), d'améliorer la prédictivité du modèle de l'acceptation de la technologie (Adrian *et al.*, 2005; Caffaro *et al.*, 2020; Dai et Cheng, 2022; Michels *et al.*, 2021). Il est donc important d'adopter une approche holistique dans l'analyse de l'adoption des technologies.

1.1.1.5 Théorie de la valeur-croyance-norme

La théorie de la valeur-croyance-norme développée par Stern *et al.* (1999) peut également être utilisée pour comprendre l'adoption des comportements, notamment l'adoption des comportements pro-environnementaux. Selon cette théorie, l'adoption des comportements pro-environnementaux est le fruit de la conjonction de facteurs principaux, à savoir les valeurs, les croyances et les normes personnelles, c'est-à-dire les obligations personnelles qui poussent les individus à adopter des comportements en accord avec les buts du mouvement (Stern *et al.*, 1999). Dans cette théorie, les normes personnelles sont considérées comme étant le déterminant immédiat des comportements pro-environnementaux, qui peuvent se matérialiser de différentes manières, soit par l'activisme environnemental, la participation politique dans les activités citoyennes, l'acceptation de politiques publiques qui peuvent impliquer un sacrifice matériel en faveur de la cause des mouvements environnementalistes, soit par le changement de comportement dans la sphère privée ou personnelle (Stern *et al.*, 1999).

Toutefois, la réalisation du comportement pro-environnemental peut varier d'un individu à l'autre, en raison des capacités et contraintes spécifiques à chaque individu. Ces capacités et contraintes vont donc conditionner en retour l'efficacité réelle ou perçue d'un individu à réaliser le comportement désiré. Par exemple, un producteur peut vouloir adopter l'agriculture de conservation pour limiter la dégradation des

sols, mais il n'a pas les moyens pour acquérir la machinerie agricole nécessaire pour mettre en œuvre la pratique.

Selon Stern *et al.* (1999), le processus de formation des normes personnelles environnementales est expliqué par une chaîne de trois facteurs successifs. Elle débute par la prise de conscience des individus des conséquences que la modification de l'environnement affecte les populations, les autres espèces ou la biosphère. Ensuite, cette prise de conscience va conduire à l'attribution de responsabilité, qui tire sa source des croyances de l'individu selon lesquelles des actions peuvent être posées par lui-même ou par d'autres personnes pour éliminer la menace ou restaurer les valeurs. Ici, les activistes environnementaux ou les mouvements environnementalistes peuvent jouer un rôle important, notamment en identifiant les actions qui doivent être posées afin de remédier à la situation. Ce faisant, ils renforcent le processus de formation ou d'activation des normes personnelles.

La théorie stipule aussi que la prise de conscience des conséquences est influencée par le nouveau paradigme environnemental (*New Environmental Paradigm*) lui-même déterminé par trois types de valeurs à savoir les valeurs altruistes ou les valeurs envers les humains, les valeurs égoïstes ou les valeurs liées à la recherche d'un gain personnel et les valeurs biosphériques ou valeurs liées à la protection de l'environnement (Stern, 2000). Le nouveau paradigme environnemental traduit ici la vision globale selon laquelle les actions humaines ont des effets négatifs importants sur la biosphère (Stern *et al.*, 1999).

1.1.2 Les principaux facteurs d'adoption des innovations agricoles

Sur le plan empirique, plusieurs facteurs susceptibles d'influencer l'adoption des pratiques agricoles innovantes ont été identifiés dans la littérature.

C'est le cas par exemple des caractéristiques socio-économiques (niveau d'éducation, taille de la main-d'œuvre familiale, le sexe et l'âge, etc.) de l'exploitant qui peuvent influencer dans un sens ou l'autre l'adoption des innovations agricoles en générale et en particulier les pratiques agricoles durables (Adusumilli et Wang, 2019; D'Emden *et al.*, 2008; Fisher *et al.*, 2018; Ghazalian *et al.*, 2009; Hyland *et al.*, 2018; Khonje *et al.*, 2018; Kunzekweguta *et al.*, 2017; Manda *et al.*, 2016; Mango *et al.*, 2017; Mutyasira *et al.*, 2018; Takam-Fongang *et al.*, 2019; Teklewold *et al.*, 2013; Traoré *et al.*, 1998; Zeng *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Plusieurs études ont relevé des effets positifs de l'éducation sur l'adoption des innovations agricoles (D'Emden *et al.*, 2008; Takam-Fongang *et al.*, 2019; Zeng *et al.*, 2018). Ces effets

positifs se justifient par la capacité de l'agriculteur éduqué à acquérir et à analyser les informations relatives à l'innovation agricole (Feder et Slade, 1984).

Dans le même ordre d'idées, on montre également que la formation agricole permet d'accroître la probabilité d'adoption des innovations agricoles (Kagoya *et al.*, 2018; Takam-Fongang *et al.*, 2019). Cet effet positif résulte des opportunités de familiarisation avec les innovations agricoles que la formation agricole permet aux agriculteurs (Takam-Fongang *et al.*, 2019). Contrairement à l'éducation et à la formation agricole, l'âge de l'agriculteur peut avoir un effet positif ou négatif sur l'adoption des innovations agricoles. Alors que Zeng *et al.* (2018) ont obtenu un effet négatif de l'âge sur l'adoption des variétés améliorées de maïs en Éthiopie (Ghazalian *et al.*, 2009) ont montré que l'âge de l'opérateur principal a un effet positif sur l'adoption des bandes riveraines au Québec.

De même que l'âge, l'attitude envers le risque peut avoir un effet positif ou négatif sur l'adoption des pratiques agricoles durables. Les agriculteurs risquophobes qui voient l'adoption des pratiques agricoles durables comme ayant un risque financier plus élevé à cause des coûts initiaux élevés seront moins disposés à adopter les pratiques durables, alors que les agriculteurs risquophobes qui voient l'adoption des pratiques agricoles durables comme un bon moyen de prévenir les conflits potentiels avec les non exploitants seront plus enclins à adopter les pratiques agricoles durables (Kara *et al.*, 2008). Les études montrent également que les productrices agricoles sont plus enclines à l'adoption des pratiques agricoles durables à cause de leur plus grande sensibilité à la dégradation de l'environnement pouvant affecter la santé de la famille et des voisins (Davey et Furtan, 2008; Ghazalian *et al.*, 2009).

Les normes subjectives, les attitudes vis-à-vis du comportement et les perceptions sur le contrôle du comportement peuvent avoir également un effet positif sur l'intention d'adopter les innovations agricoles. Ce résultat est confirmé par Daxini *et al.* (2018) et Despotović *et al.* (2019) dans leurs études respectives sur les déterminants de l'intention d'adopter une application d'engrais basée sur les résultats d'analyse du sol en Irlande et sur les déterminants de l'intention d'adopter la lutte intégrée contre les nuisibles en Serbie. Van Hulst et Posthumus (2016) montrent en revanche que les normes subjectives n'ont pas d'effet sur l'intention d'adopter l'agriculture de conservation au Kenya mais identifient l'attitude et les perceptions sur le contrôle du comportement comme étant les facteurs associés à l'intention d'adopter l'agriculture de conservation. Cette non-pertinence des normes subjectives dans l'explication de l'intention d'adopter les innovations agricoles a également été obtenue par Hyland *et al.* (2018) dans leur

étude sur les déterminants de l'intention d'adopter les systèmes de pâturage à base de paddock (SPP) en Irlande. Les perceptions de l'agriculteur sur les caractéristiques de l'innovation peuvent également influencer son adoption. C'est le cas par exemple des perceptions sur le risque et le rendement agricole de l'innovation. Si l'innovation agricole est perçue par les agriculteurs comme plus risquée, alors elle aura tendance à être moins adoptée alors que si elle permet d'accroître les rendements elle aura plus de chance d'être adoptée (Ramsey *et al.*, 2019; Takam-Fongang *et al.*, 2019). Plusieurs études ont aussi relevé les effets positifs de la perception de la dégradation environnementale sur l'adoption des pratiques agricoles de conservation du sol. C'est le cas de Traoré *et al.* (1998) qui ont obtenu un effet positif des perceptions de la dégradation environnementale sur l'adoption des pratiques de conservation du sol au Québec. Wade et Claassen (2017) ont également montré que la probabilité d'adoption continue du non-labour aux États-Unis augmentait si le sol était classé comme fortement érodable. Dans ce cas, l'agriculteur va adopter les pratiques de conservation du sol pour se plier aux exigences réglementaires (Wade et Claassen, 2017), pour réduire l'érosion du sol et la perte de fertilisants ou pour réduire ses coûts de production (Singh *et al.*, 2018).

Toutefois cette relation de cause à effet entre les perceptions de la dégradation environnementale et l'adoption des pratiques agricoles de conservation du sol n'est pas toujours vérifiée dans la littérature puisque plusieurs autres études ont rapporté un effet négatif ou non significatif (D'Emden *et al.*, 2008; Lee et Stewart, 1983; Wei *et al.*, 2009). Par contre les perceptions de l'agriculteur sur les problèmes de santé de l'application des produits chimiques ainsi que les pertes agricoles attendues dues à la peste et aux mauvaises herbes réduisent la probabilité d'adopter les pratiques de conservation du sol au Québec (Traoré *et al.*, 1998). Pareillement Lasley *et al.* (1990) ont montré que ce sont les risques de sécurité et de santé liés à l'agriculture intensive perçus par les agriculteurs de l'Iowa qui les poussaient à adopter les pratiques agricoles à faible usage d'intrants chimiques.

Le mode d'acquisition des terres joue aussi un rôle important sur l'adoption des innovations agricoles à l'instar des pratiques de conservation du sol dont les effets bénéfiques sont attendus sur le long terme (Phillips et Veeman, 1987; Van Hulst et Posthumus, 2016; Ward *et al.*, 2016). La théorie postule que les propriétaires de terres agricoles sont plus susceptibles d'adopter les pratiques de conservation du sol alors que les contractants sont plus réticents à adopter les pratiques de conservation parce qu'ils ne sont pas sûrs d'engranger les bénéfices de leur investissement pendant la durée du contrat de location (Adusumilli et Wang, 2019). Cette thèse a été confirmée par Tambo et Mockshell (2018) sur l'adoption de l'agriculture

de conservation en Afrique Sub-Saharienne et par Kara *et al.* (2008) sur l'adoption des plans d'érosion aux États-Unis. Toutefois ces résultats ne sont pas universels puisque Kagoya *et al.* (2018) ont rapporté dans leur étude dans le bassin versant Nabajuzi au Centre de l'Ouganda que le statut de propriétaire des terres n'a pas d'effet significatif sur l'adoption des pratiques de conservation de l'eau et du sol, mais plutôt que le nombre d'années passées sur la parcelle exploitée accroît la probabilité d'adoption des pratiques de conservation de l'eau et du sol.

L'information a également été relevée dans la littérature comme jouant un rôle important dans l'adoption des innovations agricoles. L'absence d'information ou des informations erronées sur les pratiques agricoles durables peuvent contribuer à limiter leur adoption (Feather et Amacher, 1994). Ainsi, il a été démontré que la sensibilisation permettait d'accroître la probabilité d'adopter les pratiques agricoles durables (Feather et Amacher, 1994). Cet effet positif est rendu possible par la réduction des incertitudes sur la capacité des pratiques dites durables à accroître la rentabilité et la qualité de l'environnement (Feather et Amacher, 1994). Ces informations proviennent généralement de différentes sources (agents des services d'extension, organisations des producteurs, autres producteurs, etc.) et peuvent influencer différemment l'adoption des innovations agricoles (Adegbola et Gardebroek, 2007; Fisher *et al.*, 2018). C'est ainsi que plusieurs études ont rapporté des effets positifs de l'appartenance à une organisation paysanne, des contacts avec les agents d'extension et/ou la participation aux activités de conseil agro-environnemental sur l'adoption des innovations agricoles (Tambo et Mockshell, 2018; Tamini, 2011; Teklewold *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019).

D'autres études ont montré que l'adoption des pratiques agricoles durables dépend aussi des caractéristiques du sol. Par exemple Neill et Lee (2001) ont montré au nord du Honduras que l'adoption du système agricole durable augmente avec l'amplitude de la pente des champs. Davey et Furtan (2008) ont montré au Canada que le labour de conservation tend à être plus adopté dans les zones dominées par les sols noirs et gris foncés et moins adopté dans les sols bruns. Ces mêmes auteurs ont montré aussi que la probabilité d'adoption du labour de conservation au Canada s'accroît avec les niveaux élevés de température moyenne maximale des mois d'avril et juin précédents.

1.2 Durabilité en agriculture : définition et mesure

1.2.1 Origine de l'agriculture durable

L'agriculture durable est un concept multidimensionnel qui peut signifier différentes choses pour différents acteurs (Janker *et al.*, 2018; Siebrecht, 2020). Bien que les premières articulations sur le concept d'agriculture durable aient été formulées au début des années 1980 (Neher, 1992), le concept s'est popularisé à la suite du rapport Brundtland qui a fait émerger le concept de développement durable (WCED, 1987). En effet, Harwood (1990) identifie deux points de référence à partir desquels le concept de durabilité en agriculture tire ses sources. Le premier point se trouve dans les années 1980 avec les travaux de Rodale (1983) sur l'agriculture régénératrice qui définit une agriculture basée sur les principes de l'écologie. On parle de la définition écologique de la durabilité. Le deuxième point de référence date de 1987 avec l'usage accru du terme durable qui fait référence à une agriculture stable dans un sens plus large incluant toutes les facettes de l'agriculture et son interaction avec la société. Au-delà de ces deux sources, il est important de souligner que l'agriculture durable s'est constituée en opposition à l'agriculture conventionnelle taxée d'avoir de nombreux impacts sur l'environnement, parmi lesquels la baisse de la productivité résultant de l'érosion du sol, la compaction du sol, la perte de la faune et des insectes utiles à cause des pesticides, la dépendance sur les ressources non renouvelables, la perte de la biodiversité, la pollution des eaux souterraines et des eaux de surface, l'exposition des agriculteurs aux produits chimiques dangereux et le développement de la résistance aux pesticides (Schaller, 1993). Ces conséquences ont suscité le désir d'une agriculture durable afin de juguler ces effets néfastes sur l'environnement. Ce désir, porté soit par les consommateurs qui voulaient une nourriture saine, par les fermiers qui s'inquiétaient de leur santé et celle des autres, soit par le public et les décideurs politiques qui étaient préoccupés par la dégradation de l'environnement (Neher, 1992), a permis l'essor de nombreuses pratiques agricoles alternatives telles que le labour de conservation, l'agriculture biologique et autres.

Même si le concept d'agriculture durable s'est formé autour des années 1980, il faut noter que la pratique ou la science de l'agriculture durable remontent à la genèse même de l'agriculture. Comme le souligne King (1911) dans son livre, l'adoption de diverses pratiques agricoles telles que la rotation de cultures avec les légumineuses, le compostage, notamment, a permis aux peuples japonais, chinois et coréens de maintenir la fertilité des sols après 4000 années d'activité agricole.

La durabilité en agriculture est un concept politique, complexe, dynamique et intrinsèquement subjectif car il peut varier en fonction des objectifs de différents groupes dans la société (NRC, 2010). Ainsi, on peut recenser plusieurs définitions de l'agriculture durable dans la littérature. Ces définitions ont été regroupées autour de quatre groupes par Hansen (1996). Le premier groupe définit l'agriculture durable comme une idéologie. Ici, l'agriculture durable peut se définir comme étant une approche philosophique prônant une gestion de la terre qui tient compte de son utilisation par les générations futures (Neher, 1992). Le deuxième groupe, quant à lui, définit l'agriculture durable comme une stratégie. Elle peut donc être définie ici comme étant une pratique qui minimise l'utilisation d'intrants externes et maximise l'utilisation des intrants internes existant déjà sur le champ (Carter, 1989). Ainsi, toute pratique agricole permettant de limiter les effets néfastes de l'agriculture sur l'environnement tout en maintenant des profits assez élevés est considérée comme durable. Le troisième groupe définit plutôt l'agriculture durable comme un système capable de continuer à exister dans le temps. Dans cette perspective, une pratique sera considérée durable si elle ne limite pas la capacité du système de s'auto-reproduire dans le temps (Thompson, 2007). Le quatrième et dernier groupe définit l'agriculture durable en termes de capacité à remplir un ensemble d'objectifs économiques, sociaux ou environnementaux. L'agriculture durable peut donc se définir ici comme étant une pratique agricole qui permet de répondre aux besoins sociétaux présents et futurs en nourriture, en fibres, en services écosystémiques et en santé, et qui sont obtenus en maximisant les bénéfices nets de la société lorsque tous les bénéfices et coûts des pratiques sont pris en compte (Tilman *et al.*, 2002).

1.2.2 Modèle d'évaluation de la durabilité agricole

L'agriculture durable est plus que jamais au cœur des préoccupations des chercheurs à travers le monde (Sarkar *et al.*, 2022). Les recherches sur l'agriculture durable ont plus que doublé entre 1992 et 2020, montrant ainsi un intérêt croissant des chercheurs pour le sujet. Ces recherches couvrent différents aspects, y compris la définition même du concept d'agriculture durable (Hansen, 1996; Trigo *et al.*, 2021), l'implémentation et l'évaluation de l'agriculture durable (Thivierge *et al.*, 2014), l'adoption de l'agriculture durable (Foguesatto *et al.*, 2020; Piñeiro *et al.*, 2020), et d'autres domaines d'intérêt. Malgré la pluralité des aspects de l'agriculture durable abordés dans la littérature, l'évaluation de l'agriculture continue de susciter beaucoup d'attention au sein de la communauté scientifique. Étant donné que l'agriculture durable est un concept multidimensionnel, dynamique et variable en fonction des objectifs de différents groupes dans la société (NRC, 2010), plusieurs modèles ont été proposés dans la littérature pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles. Ces modèles ont été regroupés en deux catégories, à savoir les

modèles non holistiques et les modèles holistiques (Talukder, 2016). Les modèles non holistiques se concentrent sur certains aspects de la durabilité, tandis que les modèles holistiques évaluent l'ensemble des aspects de la durabilité.

1.2.2.1 Modèles non holistiques

Les modèles d'évaluation non holistiques se concentrent uniquement sur certains aspects de la durabilité des systèmes agricoles. Ils peuvent, par exemple, se concentrer uniquement sur l'évaluation de la durabilité environnementale, comme c'est le cas avec l'analyse de cycle de vie. Cette approche évalue généralement l'impact environnemental d'un produit tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières à l'élimination du produit, en passant par sa production, sa consommation et son recyclage (ISO, 2006). Dans le contexte agricole, elle implique l'évaluation de l'impact environnemental des pratiques agricoles sur divers aspects tels que le réchauffement climatique, le potentiel d'acidification et le potentiel d'eutrophisation (Viana *et al.*, 2022).

L'analyse de cycle de vie se déroule en quatre étapes successives : la définition de l'objectif et de la portée de l'étude, l'inventaire des entrées et des sorties liées à l'objet de l'étude, l'analyse de l'impact du cycle de vie et l'interprétation des résultats (ISO, 2006). Cette méthode a été largement utilisée pour évaluer les pratiques agricoles dans la littérature. Par exemple, Viana *et al.* (2022) l'ont utilisée pour comparer la production biologique et conventionnelle d'avoine au Canada. Afshar et Dekamin (2022) l'ont également employée pour évaluer la durabilité des pratiques de conservation du sol et du labour conventionnel.

Les résultats de l'analyse de cycle de vie dépendent souvent des choix méthodologiques de l'investigateur, notamment en ce qui concerne l'unité d'analyse choisie, qui peut être exprimée en termes de quantité de produit obtenue ou de superficie cultivée. Bien que l'analyse de cycle de vie soit appropriée pour évaluer certains aspects de la durabilité, en particulier ceux liés à la durabilité environnementale, elle est souvent combinée avec d'autres méthodes pour évaluer les autres aspects de la durabilité (Król-Badziak *et al.*, 2021).

On peut aussi recourir à l'analyse coût-bénéfice pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles. L'analyse coût-bénéfice consiste à évaluer l'ensemble des coûts et bénéfices associés à une pratique agricole et à faire la différence entre les deux valeurs. L'intérêt de cette approche réside dans le fait qu'elle permet de prendre en compte les externalités positives ou négatives d'une pratique agricole sur la société

ou l'environnement qui ne sont pas reflétées dans les prix du marché. Toutefois, il peut être difficile de monétiser certains bénéfices écosystémiques des pratiques agricoles nécessaires au calcul du ratio coût-bénéfice de la pratique agricole. Malgré cette limite, l'analyse coût-bénéfice continue d'être utilisée pour l'évaluation des pratiques agricoles (DeVincentis *et al.*, 2020; Roberts *et al.*, 2023).

D'autres approches comme l'empreinte écologique (Wackernagel et Rees, 1996), l'empreinte carbone (Dubey et Lal, 2009), l'empreinte hydrique (D'Ambrosio *et al.*, 2018), etc. peuvent également être utilisées pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles. Bien que ces approches diffèrent l'une de l'autre, elles visent à évaluer seulement certains aspects de la durabilité. Par exemple, l'empreinte écologique comptabilise les flux d'énergie et de matière entrant et sortant d'une économie et les convertit en termes d'unités de terre nécessaires à la nature pour supporter ces flux (Wackernagel et Rees, 1996). Elle mesure donc la charge imposée par les hommes sur la nature. L'objectif de cette approche n'est pas de décrire comment sont les mauvaises choses, mais plutôt d'évaluer la durabilité des activités humaines et d'aider à prendre des décisions.

L'empreinte carbone et l'empreinte hydrique ont été développées à la suite des travaux de Wackernagel et Rees (1996) sur l'empreinte écologique et permettent de mesurer respectivement la quantité de gaz à effet de serre qu'un individu, une organisation, un procédé, un produit ou un événement émet dans l'atmosphère à l'intérieur d'une frontière donnée (Pandey et Agrawal, 2014) et l'impact de la production d'un bien ou d'un service en termes de consommation et de pollution hydrique (D'Ambrosio *et al.*, 2018). Les détails de l'application de ces méthodes dans le secteur agricole peuvent être obtenus dans les travaux suivants (Novoa *et al.*, 2019; Pandey et Agrawal, 2014).

1.2.2.2 Modèles holistiques

Les modèles holistiques, comme leur nom l'indique, sont des modèles qui visent à évaluer l'ensemble des aspects de la durabilité d'un système agricole. Ils ne se limitent plus uniquement à l'évaluation de certains aspects de la durabilité, comme le font les modèles non holistiques. Plusieurs modèles holistiques sont décrits dans la littérature, mais dans cette section, nous nous concentrerons sur les modèles les plus usuels, qui servent de base aux autres modèles.

Le premier modèle que nous voulons présenter est celui de Landais (1998), qui a été développé pour évaluer la durabilité des exploitations agricoles. Landais (1998) définit une exploitation durable comme

une exploitation viable, vivable, transmissible et reproductible. Pour Landais (1998), la durabilité des exploitations agricoles dépend des rapports que ces dernières entretiennent avec leur environnement. Il identifie quatre rapports, à savoir le lien économique reliant l'exploitation et le marché à travers son insertion dans la filière par ses activités productives, le lien social qui intègre les producteurs dans les réseaux de relations non marchandes (avec d'autres producteurs et même d'autres acteurs de la communauté) de la localité, le lien intergénérationnel qui est un lien social tirant son essence de l'agriculture familiale, où l'exploitation est léguée aux générations futures, et le lien écologique ou environnemental traduisant la relation entre production agricole et les ressources et milieux naturels, et prônant une production agricole permettant de maintenir le renouvellement des ressources sur le long terme. C'est cette vision de la durabilité qui a orienté le développement de la méthode IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), une approche permettant de mesurer la durabilité des exploitations agricoles (Zahm *et al.*, 2008).

La méthode IDEA a été développée à partir des années 1998 par une équipe interdisciplinaire de chercheurs et enseignants, avec pour objectif non seulement de contribuer à l'enseignement mais aussi de rendre opérationnel le concept d'agriculture durable pour sa mise en œuvre dans les projets (Zahm et Mouchet, 2013). Dans sa première version, la méthode IDEA évalue la durabilité de l'exploitation agricole à partir de 41 indicateurs de durabilité regroupés au sein de 16 objectifs, 10 composantes et 3 échelles (Zahm *et al.*, 2008). La première échelle est la durabilité agroécologique, subdivisée en trois composantes avec des poids similaires de 33 ou 34 et 19 indicateurs. Ces trois composantes sont l'organisation de l'espace, la diversité de la production et les pratiques agricoles. La deuxième échelle est la durabilité socio-territoriale, avec trois composantes parmi lesquelles l'organisation de l'espace, la qualité des produits et de la terre, et l'éthique et le développement humain, avec des poids similaires, et 16 indicateurs. La troisième est la durabilité économique, avec 4 composantes dont la viabilité économique, la transférabilité, l'indépendance et l'efficacité, et 6 indicateurs. Après quelques modifications dans les années 2003 et 2008, la méthode IDEA a connu une modification en profondeur, notamment au niveau du cadre conceptuel, de la grille d'évaluation et de ses indicateurs, ce qui a abouti à ce qui convient d'appeler la méthode IDEA version 4. Ces changements sont légitimes car ils permettent d'intégrer non seulement les nouveaux enjeux sociétaux mais aussi l'évolution des cadres réglementaires publics et privés et les nouveaux seuils de performance issus des statistiques publiques agricoles les plus récentes (Zahm *et al.*, 2019). La méthode IDEA combine maintenant à la fois l'approche par les propriétés des systèmes agricoles durables et l'approche par les objectifs de l'agriculture durable pour évaluer la durabilité des exploitations agricoles.

Dans l'approche par les objectifs de l'agriculture durable, l'évaluation se fait au travers de 53 indicateurs de durabilité eux-mêmes organisés autour de 13 composantes et des trois dimensions de la durabilité (socio-territoriale, économique et agroécologique). Dans l'approche basée sur les propriétés des systèmes agricoles durables, les mêmes 53 indicateurs de durabilité sont organisés autour de 15 branches et de 5 propriétés des systèmes agricoles durables (responsabilité globale, ancrage territorial, robustesse, capacité productive et reproductive des biens et services, et autonomie).

Le troisième modèle de cette catégorie est le modèle RISE (*Response-Inducing Sustainability Evaluation*). Ce modèle a été développé par (Häni *et al.*, 2003) pour évaluer la durabilité d'une exploitation agricole. Le modèle évalue la durabilité de l'exploitation agricole à travers 12 indicateurs provenant des trois dimensions de la durabilité, à savoir les dimensions économique, sociale et écologique. Pour chaque indicateur, les auteurs définissent deux composantes (l'état et la pression) qui sont directement mesurables par un nombre de paramètres sur le terrain. Les deux composantes sont toutes évaluées sur une échelle de 0 à 100, mais l'interprétation des valeurs diffère d'une composante à l'autre. La composante État d'un indicateur mesure la condition actuelle de l'indicateur et les scores élevés sur cette composante représentent les conditions désirables. À l'opposé, la composante Pression mesure la pression que le système agricole exerce sur un indicateur donné; par conséquent, les scores élevés sur cette composante représentent les conditions défavorables. La différence entre la composante État et la Pression permet d'obtenir le degré de durabilité des 12 indicateurs. Ceci permet en retour d'établir les forces et faiblesses du système, facilement visualisables à travers un polygone. Dans ce modèle, une exploitation agricole est considérée comme durable si et seulement si elle n'a pas d'indicateur dont le degré de durabilité est inférieur à -10. La première version de ce modèle a été testée dans plusieurs pays tels que l'Arménie, le Kenya, l'Inde, etc. et les limites constatées ont permis d'améliorer le modèle initial (Berbec *et al.*, 2018; Grenz *et al.*, 2009; Häni *et al.*, 2006). Cela a conduit à la création des versions 2.0 et 3.0 en 2011 et 2015 respectivement, afin de mieux représenter la diversité des conditions de production en agriculture et d'intégrer les différents besoins des utilisateurs (Grenz *et al.*, 2016). La dernière version est structurée en 10 thèmes et 46 indicateurs de durabilité. Dans cette version, les données de l'exploitation sont comparées à un standard de référence et normalisées entre 0 et 100, où 0 désigne la situation inacceptable et 100 la situation désirée (Grenz *et al.*, 2016). La performance de l'exploitation au niveau de chaque thème est obtenue par une moyenne arithmétique des indicateurs qui le composent, en supposant que tous les indicateurs ont le même poids (Grenz *et al.*, 2016). La méthode RISE a

notamment permis de comparer les fermes biologiques et les fermes conventionnelles à faibles intrants agricoles en Pologne (Berbeć *et al.*, 2018).

La méthode SAFA (*Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*) est une autre approche utilisée pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles. Cette approche est plus large que la précédente car elle évalue l'impact d'une entreprise agricole sur l'environnement et les populations (De Olde *et al.*, 2017). Elle évalue aussi la durabilité dans tous les aspects de la chaîne de valeur alimentaire, incluant à la fois la culture, l'élevage, la pêche, l'aquaculture, la production forestière, les activités de post-récolte, la transformation, la distribution et le marketing (FAO, 2014). SAFA évalue la durabilité à travers 116 indicateurs de durabilité répartis autour de 58 sous-thèmes, 21 thèmes et 4 dimensions. En plus des dimensions économique, sociale et environnementale, la méthode SAFA ajoute la gouvernance comme quatrième dimension de la durabilité (FAO, 2014). Les poids des indicateurs de durabilité sont traités différemment dans la méthode SAFA. Alors qu'elle attribue les poids équivalents aux différents indicateurs dans les dimensions économique, sociale et gouvernementale, les poids des indicateurs dans la dimension environnementale sont attribués en fonction du type de données collectées. Les indicateurs de performance ont une plus grande importance (évalués sur 3 points) suivis des indicateurs basés sur la pratique, encore appelés indicateurs prescriptifs ou de processus (évalués sur 2 points), et des indicateurs basés sur des cibles ou alors des indicateurs qui mesurent l'existence d'un plan ou d'une politique avec des objectifs ou cibles de durabilité bien définis (notés sur 1 point) (FAO, 2014). Les scores obtenus au niveau des sous-thèmes sont par la suite agrégés au niveau du thème en utilisant une moyenne arithmétique simple, où les sous-thèmes ont les mêmes poids. Bien que cette méthode continue d'être utilisée pour évaluer la durabilité en agriculture (Al Shamsi *et al.*, 2019; Leknoi *et al.*, 2023), plusieurs critiques ont été formulées à son égard. La méthode n'utilise pas les valeurs de référence dans l'interprétation des indicateurs de durabilité. Elle ne présente pas les résultats sous une forme agrégée permettant de faciliter la comparaison. Il y a également une absence d'analyse de sensibilité (Talukder, 2016).

Une autre approche d'évaluation de la durabilité, tout aussi pertinente que les précédentes, est le modèle SAFE (*Sustainability Assessment of Farming and the Environment*) qui a été développé par Van Cauwenbergh *et al.* (2007) pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles. Ce modèle, adapté pour l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation agricole et paysage, c'est-à-dire la région ou le pays), présente la durabilité des systèmes agricoles sous

forme hiérarchique et composée de principes, de critères, d'indicateurs et de valeurs de référence. Les principes reflètent les multiples fonctions des systèmes agricoles qui doivent être remplies pour assurer la durabilité de l'agriculture. Les critères sont un ensemble d'objectifs liés aux principes qui sont plus concrets et facilement liés aux indicateurs, et les indicateurs sont des variables pouvant être utilisées pour vérifier la conformité du système étudié aux critères. Enfin, la valeur de référence représente le niveau de durabilité souhaité pour les différents indicateurs (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007). Bien que ce modèle ne donne aucune information ni sur la méthode d'agrégation à adopter ni sur les poids relatifs des différents critères dans l'évaluation de la durabilité, il sert souvent de cadre de référence pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles dans la littérature (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). Son avantage réside dans le fait qu'il peut être facilement combiné à d'autres méthodes comme l'aide multicritère à la décision pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles.

L'aide multicritère à la décision est une autre approche de plus en plus utilisée pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles dans la littérature (Craheix *et al.*, 2016; Giuliano *et al.*, 2016). Cette méthode constitue une approche innovante pour analyser la multidimensionnalité de la durabilité agricole puisqu'elle permet, à travers des jeux de critères, l'intégration des dimensions économique, sociale et environnementale dans l'analyse de la durabilité agricole. Le recours à cette méthode peut se justifier aussi par sa capacité à intégrer dans l'analyse les différentes aspirations et points de vue du public qui sont toujours ou à peu près conflictuels (Munda, 2004). Cette manière de faire permet en retour d'accroître l'efficacité et l'acceptabilité des politiques de durabilité qui en résultent (Munda, 2005). L'agrégation des préférences du public se fait à travers les différents critères, éléments essentiels de l'aide multicritère à la décision, qui captent les différentes valeurs présentes dans la société. Vu sous cet angle, l'aide multicritère à la décision peut être considérée comme un processus démocratique (Munda, 2005) permettant d'aboutir à une prise de décision transparente, structurée et valide (Cinelli *et al.*, 2014). Talukder (2016) a comparé plusieurs méthodes d'évaluation de la durabilité en agriculture sur la base de 17 critères relatifs à la convivialité et la solidité scientifique des méthodes. Les résultats montrent que l'aide multicritère à la décision est la méthode la plus pertinente pour l'évaluation de la durabilité agricole, car elle repose sur une base scientifique solide. Ces méthodes permettent notamment l'analyse de sensibilité et sont capables d'intégrer à la fois les données qualitatives et quantitatives qui peuvent elles-mêmes provenir des parties prenantes.

On distingue plusieurs variantes de l'aide multicritère à la décision dans la littérature, pouvant être regroupées au sein de trois catégories (Belton et Stewart, 2002). La première catégorie regroupe les méthodes d'analyse multicritères basées sur la théorie de l'utilité, comme le *Muti Attribute Utility Theory* (MAUT) ; la deuxième catégorie regroupe les méthodes de surclassement ; et la dernière catégorie inclut les méthodes basées sur la comparaison d'alternatives paire par paire (Caillet, 2003). Les méthodes basées sur la théorie de l'utilité sont plus précises mais restent très compliquées à implémenter (Caillet, 2003). Elles demandent une information solide basée sur des probabilités ou une connaissance déterministe de l'utilité associée à une performance sur un critère (Caillet, 2003). Les méthodes de surclassement, quant à elles, demandent moins d'informations mais laissent place à plus de souplesse dans la compréhension des préférences. Les méthodes les plus couramment utilisées pour évaluer la durabilité incluent entre autres MAUT, AHP (*Analytical Hierarchy Process*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method of Enrichment Evaluations*), ELECTRE (*Elimination and Choice expressing the Reality*) et DRSA (*Dominance Rough Set Approach*) (Cinelli *et al.*, 2014). Étant donné qu'il n'existe pas de meilleures méthodes d'analyse multicritères, le choix de la méthode doit dépendre des caractéristiques (par exemple les critères, indicateurs, participants) du problème à étudier (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017; Talukder *et al.*, 2017). C'est ainsi que la méthode PROMETHEE a été utilisée dans le cadre de cette étude.

1.2.3 Performance de l'agriculture de conservation : Éclairage à partir de la littérature.

Plusieurs études ont analysé la performance de l'agriculture de conservation dans la littérature. Par exemple certaines études soulignent les effets positifs de l'agriculture de conservation sur la qualité des sols et les rendements agricoles (Khonje *et al.*, 2018; Manda *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2011; Thierfelder *et al.*, 2013). Ces effets positifs sont rendus possibles à travers l'amélioration du taux d'infiltration de l'eau, du taux d'humidité du sol et du taux de séquestration du carbone (Sharma *et al.*, 2011; Thierfelder *et al.*, 2013). Dans la même lancée, Craheix *et al.* (2016) montrent à travers une évaluation multicritère de la durabilité des pratiques de l'agriculture de conservation en France que les systèmes agricoles avec une forte diversification des rotations culturales enregistraient les plus grands scores de durabilité montrant ainsi l'effet prédominant de la diversification des rotations culturales sur le labour minimum pour l'atteinte de la durabilité des systèmes agricoles. Les auteurs montrent également que le semis direct et le labour minimum ont une rentabilité sensiblement équivalente au système conventionnel mais une mauvaise capacité de contrôle des mauvaises herbes, des insectes et des maladies. Leur étude montre également que la diversification des rotations culturales surtout avec les légumineuses accroît la rentabilité, l'efficacité et le contrôle des mauvaises herbes, des maladies et des insectes. En comparant quatre

systèmes agricoles (le système conventionnel de monoculture de maïs, le système de monoculture de maïs avec utilisation restreinte d'inputs, le système de monoculture de maïs basé sur le labour de conservation et le système intégré de rotation de maïs caractérisé par une rotation sur trois ans du maïs-soja-blé d'hiver, réduction des pesticides, herbicides et l'irrigation de 50 %) via une évaluation multicritère, Giuliano *et al.* (2016) montrent que les rendements des systèmes de monoculture de maïs avec utilisation restreinte d'inputs et le système intégré de rotation ont décliné avec le temps notamment la troisième année contrairement à ceux du système conventionnel qui sont restés stables au fil du temps. Les auteurs montrent que le système conventionnel et le système de monoculture de maïs avec utilisation restreinte d'inputs sont plus bénéfiques que le système intégré de rotation qui en retour est plus bénéfique que le système de monoculture avec conservation de labour. Les auteurs expliquent ces différences par la différence de rendements et de coûts opérationnels.

Contrairement aux études ci-dessus, d'autres auteurs ont analysé les performances de l'agriculture de conservation en adoptant une approche quantitative. C'est le cas de Kassie *et al.* (2015) qui ont montré en utilisant le modèle de régression multinomiale avec changement de régime endogène que l'adoption des pratiques agricoles intensives et durables augmente le rendement du maïs au Malawi de 850kg/ha lorsque le labour minimum et la diversification (ou rotation) étaient conjointement adoptés, de 505kg/ha lorsque la diversification culturelle était adoptée seule et de 300kg/ha lorsque le labour minimum était adopté seul. Ces auteurs ont également montré que l'adoption des pratiques agricoles intensives et durables réduisait le risque de baisse des récoltes avec l'impact le plus important obtenu lorsque la diversification culturelle et le labour minimum étaient adoptés conjointement.

Teklewold *et al.* (2013) ont montré en utilisant la même méthodologie que l'adoption des pratiques agricoles durables augmentait les revenus du maïs en Éthiopie et que l'impact était plus important lorsque le labour minimum, la rotation culturelle et les semences de maïs améliorées étaient adoptés simultanément. Ce résultat est également obtenu par Tambo et Mockshell (2018) qui montrent que l'adoption de l'agriculture de conservation a un impact positif sur les revenus des ménages en Afrique subsaharienne. Cet impact est plus important lorsque l'adoption de l'agriculture de conservation est totale (tous les principes de l'agriculture de conservation mis en pratique) comparativement aux impacts obtenus lorsqu'un ou deux principes uniquement sont appliqués. Par contre Manda *et al.* (2016), en utilisant une méthode différente notamment le *multinomial endogenous treatment effects model* ont également abouti au résultat selon lequel l'adoption des pratiques agricoles durables (rotation culturelle, rétention des

résidus de la récolte et variété améliorée) avait un impact positif sur le rendement du maïs et le revenu des producteurs en Zambie.

Cependant d'autres études ont obtenu des résultats contradictoires. C'est le cas par exemple de Mango *et al.* (2017) qui montrent que l'adoption de l'agriculture de conservation a un effet négatif mais non significatif sur la sécurité alimentaire au Zimbabwe et au Malawi. Les résultats similaires ont également été obtenus par Valentin *et al.* (2004) et Michler *et al.* (2019) respectivement dans l'état du Kansas et au Zimbabwe. Alors que Valentin *et al.* (2004) ont montré que l'adoption des pratiques de conservation du sol telles que le labour minimum a un effet négatif sur la rentabilité des exploitations agricoles; Michler *et al.* (2019) ont démontré que l'adoption de l'agriculture de conservation a un effet négatif et un effet non significatif sur les rendements respectifs du maïs et des autres cultures au Zimbabwe. Même si l'effet sur le rendement du maïs devient positif en période de stress de pluie (Michler *et al.*, 2019) ; ce résultat converge vers les résultats négatifs obtenus par Rusinamhodzi *et al.* (2011) et Pittelkow *et al.* (2015) respectivement à long terme et dans les climats humides. Cette contre-performance de l'agriculture de conservation peut être associée à la petitesse des proportions de parcelles sous l'agriculture de conservation, l'application partielle des principes de l'agriculture de conservation, les difficultés à contrôler les mauvaises herbes (Mango *et al.*, 2017), la mauvaise application des dites pratiques (Valentin *et al.*, 2004) ou tout simplement à la saturation en eau dans le sol et la baisse de température retardant la levée et la croissance des plantes (Rusinamhodzi *et al.*, 2011). Cette contre-performance peut être encore due à la non-complémentarité entre les principes de l'agriculture de conservation. Cette idée est appuyée d'une part par les résultats de Ward *et al.* (2016) qui montrent que la culture intercalaire et le semis direct sont non complémentaires ; et d'autre part par la méta-analyse de Rusinamhodzi *et al.* (2011) qui note des effets non significatifs de la combinaison labour minimum et paillis sur les rendements de maïs. Par ailleurs, cette méta-analyse montre aussi qu'à long terme (après 10 ans), la combinaison labour minimum et paillis conduit à une réduction du rendement de maïs comparativement au labour conventionnel contredisant ainsi les effets attendus de l'agriculture de conservation (Van Hulst et Posthumus, 2016).

Malgré la pléthore d'études sur la performance de l'agriculture de conservation dans la littérature, il n'existe pas au meilleur de notre connaissance une étude qui analyse la performance globale d'une telle pratique au Québec. Or étant donné que les performances des pratiques agricoles sont sensibles aux caractéristiques du sol et aux conditions climatiques (Craheix *et al.*, 2016; Giuliano *et al.*, 2016;

Rusinamhodzi *et al.*, 2011), il nous semble important de questionner la performance de cette pratique au Québec.

CHAPITRE 2

CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Différentes méthodes ont été mobilisées pour répondre au questionnement de ce travail de recherche. L'objectif de ce chapitre est donc de présenter ces différentes méthodes. Pour ce faire, le chapitre a été organisé en 7 sections représentant les différentes étapes de la recherche.

2.1 Revue de la littérature

La première étape de l'élaboration de cette thèse a consisté à faire une revue de la littérature avec pour but ultime l'élaboration du projet de thèse. Un des principaux objectifs de cette revue de la littérature était l'identification des facteurs d'adoption des innovations agricoles d'une part et la sélection des indicateurs de durabilité. Le modèle SAFE de Van Cauwenbergh *et al.* (2007) nous a guidés dans le choix des différents indicateurs de durabilité. Cette phase de la recherche nous a également permis de choisir les méthodes PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method of Enrichment Evaluations*) et AHP (*Analytic Hierarchy Process*) qui sont respectivement utilisées pour faire l'agrégation des préférences des parties prenantes et la pondération des indicateurs de durabilité.

2.2 Choix des parties prenantes

La deuxième étape de la réalisation de ce travail de recherche était dédiée au choix des parties prenantes au processus d'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles. Une partie prenante ici renvoie à un groupe ou un individu qui peut être affecté ou qui peut affecter la réalisation des objectifs des exploitations agricoles (Freeman, 1984) ou tout simplement un groupe ou un individu qui a un intérêt pour la problématique de la durabilité en agriculture. La méthode des systèmes souples a été utilisée pour identifier les différentes parties prenantes à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles. La démarche classique de la méthode des systèmes souples repose sur 7 étapes définies par Checkland (1989) comme suit :

- ❖ L'étape 1 et 2 renvoient à la reconnaissance du problème et la caractérisation de celui-ci. Ces étapes permettent d'avoir une vision globale de la problématique sous étude. Cette vision globale est obtenue en mettant en relation les préoccupations des acteurs et les observations des faits sur le terrain (Guay, 2016). Trois analyses interreliées peuvent être mobilisées pour atteindre les objectifs à ce niveau. La première analyse se rapporte aux interventions sur la situation et identifie

le client (Celui pour qui l'intervention a été posée) et le solutionneur (qui conduit l'étude). Ce dernier par la suite définit une liste d'acteurs incluant le client potentiellement impliqué dans la situation ou affecté par un changement de la situation (Checkland, 1989). La deuxième analyse se rapporte au système social et cherche à identifier les rôles sociaux impactant sur la situation, les normes de comportement attendues de chaque acteur, les appréciations des rôles. Enfin la dernière analyse est dédiée à un examen politique de la situation pour déterminer les relations de pouvoir.

- ❖ L'étape 3 est la construction des définitions racinaires. Cette étape devient effective lorsque les CATWOE sont déterminés. L'élément central d'une définition racinaire est le T (le processus de transformation des inputs en outputs donnés), *Actor* (acteur qui fait des activités dans le système), *Owner* (détenteur du système qui peut le démolir), *Customer* (victime ou bénéficiaire d'une intervention), *WWeltanschauung* (point de vue du monde qui donne un sens à la définition) et *Environmental constraints* (qu'est ce qui est considéré comme donnée dans le système).
- ❖ L'étape 4 est la construction des modèles conceptuels. Elle vise à décrire et mettre en relation les activités du système ressortant des définitions racinaires de l'étape 3. La finalité est d'avoir un modèle de système qui est capable de s'adapter et de survivre dans un environnement changeant grâce l'échange d'information et le contrôle inhérent au système. Le système global doit comporter nécessairement un sous-système opérationnel et un sous-système de monitoring et de contrôle (Checkland, 1989).
- ❖ L'étape 5 est la comparaison entre les modèles conceptuels et la réalité : quatre approches sont avancées pour effectuer la comparaison. La première approche en relation avec les définitions racinaires consiste à confronter cette dernière aux différentes perceptions courantes (notamment des individus impliqués). Il suffit de noter et de discuter les différences entre les modèles, les perceptions courantes et la situation réellement observée sur le terrain. La deuxième approche se rapporte à la comparaison au niveau des activités des modèles et celles effectivement observées dans la réalité. La série de questions suivantes peut être utilisée pour atteindre cet objectif : Cette activité est-elle réalisée dans le monde réel ? Comment ? Sur quels critères est-elle jugée ? Est-elle responsable de la situation problème ? (Checkland, 1981) cité par Checkland (1989). La troisième approche consiste à simuler l'activité du système en faisant ressortir le scénario descriptif du fonctionnement du modèle découlant de la définition racinaire et qui est ultimement comparé avec les expériences vécues par les personnes qui font face à la situation problème. La

troisième approche consiste à faire un modèle de la réalité qui doit être similaire du modèle pertinent (Checkland, 1989).

- ❖ L'étape 6 est l'identification des changements à faire : ces changements doivent passer deux tests : ils doivent être systématiquement désirables et culturellement acceptables.
- ❖ L'étape 7 est la prise de décision afin d'améliorer la situation qui fait problème. Prendre une décision consiste tout simplement à mettre en action les changements désirables et culturellement acceptables qui auront été identifiés à l'étape précédente.

Sans toutefois passer au travers de ces différentes étapes, nous avons formalisé le modèle de l'agrosystème en nous inspirant des travaux de (Guay, 2016). Les détails du modèle sont présentés au chapitre 3 de la thèse. Ce modèle a permis notamment d'identifier les différentes parties prenantes qui ont un intérêt à la problématique de la durabilité en agriculture. La liste des parties prenantes qui ont été invitées à la table de discussion a été constituée en scrutant le Rapport Pronovost qui a été rédigé à la suite des grandes consultations sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (Pronovost, 2008).

2.3 Les groupes de discussion

Deux groupes de discussion ont été réalisés dans le cadre de cette thèse de doctorat. Le premier groupe de discussion s'est déroulé au courant du mois de décembre 2020. Le groupe de discussion s'est fait en ligne via la plateforme ZOOM afin de respecter les mesures de distanciation sociale imposées par la présence de la pandémie de Covid-19. L'objectif principal de ce groupe de discussion était de sélectionner les pratiques agricoles et les indicateurs de durabilité d'une part et de faire la pondération de ces indicateurs de durabilité d'autre part. Au total 9 personnes ont participé à ce groupe de discussion mais seulement 8 ont rempli le questionnaire de suivi du groupe de discussion permettant de calculer les pondérations. Les participants provenaient d'une des catégories de parties prenantes suivantes : Institutions de recherche en agriculture (experts), organisations environnementales, la Financière Agricole du Québec (FADQ), les municipalités régionales de comté, les clubs conseils en agriculture, le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faunes et des Parcs (MELCCFP) et l'association des producteurs de grains du Québec. À la suite du groupe de discussion, un sondage rapide a été fait auprès des participants pour collecter notamment les pondérations des différents participants. Le guide d'entretien et le questionnaire qui ont été utilisés pour réaliser ce groupe de discussion et le sondage sont présentés en annexe D.

Le deuxième groupe de discussion quant à lui s'est déroulé au courant du mois de mai 2021. Ce groupe de discussion s'est également effectué en ligne via la plateforme ZOOM et il avait pour principaux objectifs la pondération des trois piliers de l'agriculture de conservation et l'évaluation des performances des pratiques agricoles sur les différents indicateurs de durabilité. Au total, 8 experts ont participé à ce groupe de discussion même si finalement, seulement 5 experts au final ont participé au sondage qui a suivi le groupe de discussion et qui a permis de faire la pondération des piliers de l'agriculture de conservation et l'évaluation des cinq meilleures pratiques agricoles. Ces experts ont été recrutés sur la base de leurs connaissances des enjeux relatives à la durabilité des pratiques agricoles. La liste potentielle des experts a été constituée en scrutant les sites web des différents centres de recherche et universités présents au Québec. Le profil des experts est présenté en détail dans le chapitre 3. Le guide d'entretien et le questionnaire qui ont été utilisés pour réaliser ce groupe de discussion et le sondage sont présentés en annexe F.

2.4 La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

La méthode AHP a été utilisée pour faire la pondération des indicateurs de durabilité et des piliers de l'agriculture de conservation. Bien que cette méthode ait été initialement développée pour soutenir les prises de décisions complexes (Saaty, 1990, 1994), elle est souvent utilisée dans la littérature pour pondérer les indicateurs (Fallah-Alipour *et al.*, 2018; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). Les poids des indicateurs de durabilité (ou des piliers de l'agriculture de conservation) sont donc obtenus en agréant les scores obtenus par chaque indicateur (ou pilier) eux-mêmes découlant des comparaisons par paire d'indicateurs (de piliers). Étant donné que plusieurs experts ont été impliqués dans le processus de pondération, la moyenne géométrique⁴ des pondérations des différents experts a été utilisée dans ce travail de recherche. Spécifiquement, le calcul des différents poids s'est fait en quatre étapes. Dans la première étape, nous avons structuré le problème sous une forme hiérarchique où nous avons au sommet l'objectif à atteindre (une pratique agricole durable ou l'agriculture de conservation) et à la base les indicateurs de durabilité ou les piliers de l'agriculture de conservation. Aux niveaux intermédiaires, nous avons les dimensions de la durabilité, les enjeux de la durabilité et les critères de la durabilité. La deuxième étape était dédiée à la comparaison par paire d'indicateurs (ou de piliers). Ces comparaisons se sont faites

⁴ La moyenne arithmétique a été utilisée pour le calcul des poids des indicateurs de durabilité comme c'est le cas le logiciel Visual Promethee.

au moyen de l'échelle de comparaison de Saaty (1990). La troisième étape était consacrée à la construction des matrices de comparaisons par paire et finalement la dernière étape était dédiée aux calculs proprement dits des poids des indicateurs de durabilité ou des piliers de l'agriculture de conservation. Tous les détails des calculs des poids des indicateurs de durabilité et des piliers de l'agriculture de conservation sont respectivement présentés aux chapitres 3 et 4 de la thèse.

2.5 Agrégation des préférences des parties prenantes : La méthode PROMETHEE

Plusieurs méthodes parmi lesquelles MAUT (Multi attribute utility theory), PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method of Enrichment Evaluations), ELECTRE (Elimination and Choice expressing the Reality), AHP (Analytic Hierarchy Process) et DRSA (Dominance Rough Set Approach) ont été régulièrement utilisées pour évaluer la durabilité dans la littérature (Cinelli *et al.*, 2014). Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients. Par exemple, bien que les méthodes basées sur la théorie de l'utilité ne soient pas sujettes à l'inversion de classement (Cinelli *et al.*, 2014), elles restent tout de même difficiles à mettre en œuvre (Caillet, 2003). En revanche, les méthodes de surclassement nécessitent moins d'informations pour être mises en œuvre (Caillet, 2003), mais elles pourraient être affectées par l'inversion de classement (Cinelli *et al.*, 2014). Ainsi, étant donné qu'il n'existe pas de meilleure méthode (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017), le choix de la méthode appropriée est souvent dicté par les caractéristiques (par exemple les critères, indicateurs, participants) du problème à étudier (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017; Talukder *et al.*, 2017).

Nous avons donc opté pour la méthode PROMETHEE dans cette étude et ceci pour au moins deux raisons. Cette méthode remplit les prérequis des méthodes d'analyse multicritère énoncés par Brans et Mareschal (1990b) à savoir : elle prend en considération l'amplitude des différences de notes obtenues par les alternatives sur les différents critères, elle neutralise les effets d'échelle souvent observés entre les critères, elle admet la possibilité d'incomparabilité entre les alternatives dans leur modélisation, elle est simple et donc facilement compréhensible par le décideur politique, elle n'utilise pas de paramètres techniques qui ne sont pas économiquement pertinents et enfin elle permet l'analyse conflictuelle des critères (Brans et Mareschal, 1990b). PROMETHEE permet aussi de faire une analyse de sensibilité des poids attribués aux différents critères (Nigussie *et al.*, 2018). Puisque la méthode PROMETHEE ne donne aucune consigne pour le choix des poids des différents critères (Guay et Waaub, 2019), nous avons utilisé la méthode AHP pour pondérer les différents critères. Les poids des critères ont été fournis par les parties prenantes.

2.6 Modélisation de l'adoption de l'agriculture de conservation

Nous utilisons le modèle Logit fractionnaire pour analyser les facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation. Ce modèle est préféré par rapport aux autres modèles comme le Probit, parce que la variable dépendante ne peut prendre que des valeurs comprises entre 0 et 1. Ce modèle a aussi été utilisé à maintes reprises dans la littérature pour traiter les problématiques similaires. Par exemple, Tran-Nam et Tiet (2022) ont utilisé le modèle Logit fractionnaire pour analyser l'adoption de l'agriculture biologique au Vietnam. Mutyasira *et al.* (2018) et Getahun *et al.* (2023) ont aussi respectivement utilisé le modèle Logit fractionnaire pour analyser la durabilité des exploitations agricoles et des facteurs de la diversification de revenus des ménages en Éthiopie. Dans notre régression, nous avons utilisé la *cumulative prospect theory* (Tversky et Kahneman, 1992) pour modéliser la préférence au risque des agriculteurs. Cette théorie, initialement développée par Kahneman et Tversky (1979) est une alternative à la théorie de l'utilité espérée. Elle permet de corriger les limites de la théorie de l'utilité espérée en prenant en compte dans l'analyse l'effet de certitude, l'effet de réflexion et l'effet d'isolation (Kahneman et Tversky, 1979). Tout comme Liu (2013) et Mao *et al.* (2019), une série de jeux calqués sur le modèle de jeux développés par Tanaka *et al.* (2010) a été utilisée pour déterminer les degrés d'aversion au risque et d'aversion à la perte des producteurs de maïs et soja.

Dans notre modèle économétrique, l'adoption de l'agriculture de conservation est mesurée par un indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation qui peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 1. Cet indice qui est inspiré des travaux de Callaci-Trottier (2019), a été développé afin d'intégrer toute la complexité de l'agriculture de conservation et la flexibilité dans l'adoption de celle-ci. Alors que Callaci-Trottier (2019) utilise six indicateurs (le pourcentage de surface avec culture d'été sur 3 trois ans, l'intensité de rotation, la diversité de la rotation, la persistance des résidus, l'intensité de la couverture du sol, l'intensité du labour) dans la construction de son indice de l'adoption de l'agriculture de conservation au Brésil, notre indice composite (CIACA) a reposé sur trois indicateurs reflétant directement les trois piliers de l'agriculture de conservation à savoir le labour minimum ou semis direct, la rotation culturale et la couverture végétale (AFD, 2006; Kassam *et al.*, 2018). Concrètement, nous avons développé un modèle d'adoption partielle de l'agriculture de conservation à l'échelle de la parcelle et de la ferme pour construire l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation. Les poids des trois principes de l'agriculture de conservation qui sont des inputs centraux dans notre modélisation, sont fournis par les jugements des experts à la suite du groupe de discussion avec les experts. Ces poids ont été calculés par la méthode AHP. Tous les détails de la construction de l'indice sont présentés dans le chapitre 5 de la thèse.

2.7 Sondage auprès des producteurs de maïs et soja

Les données utilisées pour faire les estimations ont été collectées auprès des producteurs de maïs/soja dans la province du Québec. Ces données ont été collectées à travers une enquête en ligne couvrant la période allant de février à avril 2021. Nous avons privilégié une enquête en ligne parce qu'elle limite le biais de désirabilité sociale (Zuo *et al.*, 2020) et facilite les réponses aux questions sensibles (Dupras *et al.*, 2018). Un questionnaire unique a été utilisé pour réaliser cette enquête. Ce questionnaire est présenté en annexe L. N'ayant pas une base de données de producteurs de maïs sur laquelle nous pourrions effectuer notre échantillonnage ; le questionnaire a été soumis à l'ensemble des producteurs de grains du Québec regroupés dans l'association « Producteurs de grains du Québec⁵ ». Cette soumission à l'ensemble des producteurs de grains peut aussi se justifier par le fait que les taux de réponse des enquêtes par courrier sont généralement plus faibles (Dupras *et al.*, 2018). Avant le début proprement dit de l'enquête, nous avons effectué une enquête pilote auprès des producteurs de maïs et soja au courant du mois de février 2021. Les résultats du sondage ainsi que les commentaires des collègues agronomes et agriculteurs nous ont permis d'améliorer la qualité du questionnaire. Certaines rubriques du questionnaire ont tout simplement été retirées du questionnaire. Au total 298 producteurs de maïs et soja ont participé à l'enquête même si toutes les questions n'ont pas ou ont été mal répondues par certains participants. C'est ainsi qu'après épuration de la base de données, nous avons retenu respectivement 144 producteurs de maïs et soja pour la construction de l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation (chapitre 4) et 93 pour l'analyse de l'adoption de l'agriculture de conservation (chapitre 5).

⁵ Cette association qui a été fondée en 1975, est un regroupement de 14 syndicats de producteurs de grains répartis sur l'étendue du territoire québécois. Cette association totalise environ 9500 producteurs de grains (voir site web officiel de l'association)

CHAPITRE 3
SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL PRACTICES IN QUEBEC: AN APPLICATION OF
MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS

Guy Martial Takam Fongang¹, Jean-François Guay¹, Charles Séguin^{1,2}

¹Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal. C.P. 8888, succursale
Centre-ville Montréal (Québec) H3C 3P8, Canada

²Département des sciences économiques, École des sciences de la gestion, Université du Québec à
Montréal, Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, (Québec) H3C 3P8, Canada

Abstract

People across the globe call for a transition to sustainable agriculture but the identification of the most sustainable agricultural practice remains one issue that continues to divide scholars as well as the general population. The main objective of the study was therefore to analyse the sustainability of agricultural practices and identify the most sustainable agricultural practice using a participatory multicriteria decision-aid method. To achieve that objective, the PROMETHEE outranking method and data from experts and stakeholders were used to evaluate the sustainability of agricultural practices. The results identified conservation agriculture practice CA₁ (reduced tillage + crop rotation+ living cover crops + crop residues + organic input) as the most sustainable agricultural practice. CA₁ was followed respectively by agricultural practices CA₂ (reduced tillage + crop rotation+ dead cover crops + crop residues + organic input), DMC (Direct seeding + crop rotation+ dead cover crops + crop residues + chemical input), CA₃ (reduced tillage + crop rotation+ dead cover crops + crop residues + chemical input) and CA₄ (reduced tillage + crop rotation+ living cover crops + crop residues + chemical input). The results also showed that the agricultural practices with the best performance on economic dimension were CA₁ and CA₂ followed by CA₃, CA₄ and DMC, respectively. On the other hand, results showed that the best agricultural practice on social aspects was CA₂ followed by CA₃, DMC, CA₁ and CA₄, respectively. Concerning environmental issues, the study found that they are best covered by CA₁, DMC, CA₂, CA₄ and CA₃, respectively. Finally, results showed that the ranking of the top three agricultural practices was shared by almost all stakeholders, thus suggesting a certain consensus among the different stakeholders on which agricultural practices should be considered as most sustainable agricultural practices. Agricultural practices based on conservation agriculture's principles should be promoted to achieve the sustainability in agricultural sector.

Keywords: Alternative agricultural practices, maize and soybean farmers, participative approach, PROMETHEE.

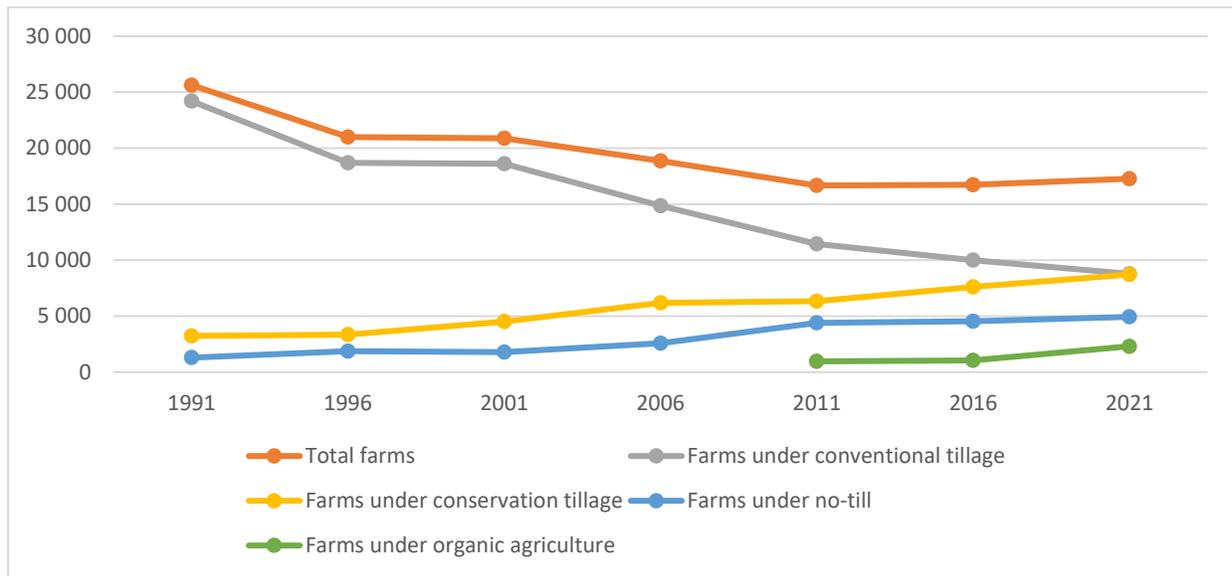
3.1 Introduction

The negative impact of agriculture on the environment has increased in most developed countries over the past decades. In Quebec for example, although the agriculture sector employs more than 57,100 workers and generates about 4.1 billion dollars in economic activity (ISQ et MAPAQ., 2019), it also emits 8.1 Mt eq. CO₂ (MELCCFP, 2023) and contributes to the reduction of soil organic matter (MAPAQ, 2020) and the poisoning of underground water by pesticides (Giroux, 2022). Statistics indicate that between 1990 and 2021, greenhouse gas emission from Quebec's agriculture has increased from 6.8 to 8.1 Mt eq. CO₂ corresponding respectively to 8 % and 10.4 % of overall Quebec's greenhouse gas emission in 1990 and 2021 (MELCCFP, 2023). Soil organic matter, essential for maintaining soil fertility has also decreased from 6.24 % in 2000 to 5.64 % in 2017 (MAPAQ, 2020). According to the literature (Parcerisas et Dupras, 2018), these negative impacts are associated with the industrialization of agricultural sector, which is characterised by the massive use of chemical fertilizers, pesticides, machinery-related imprints, fossil fuel, improved seed varieties and the dominance of conventional tillage. For example, the proportion of farmland under conventional tillage has remained high in Quebec (the mean proportion of farmland under conventional tillage over the past three decades is 61%⁶) despite its negative impact on the environment.

As a result, alternative agricultural practices such as organic agriculture, conservation tillage, no-till among others have emerged to limit the negative impacts of agriculture. For example, between 1991 and 2021, the number of farms has increased from 963 to 2311 for organic agriculture, from 3238 to 8718 for conservation tillage and from 1296 to 4940 for no-till in Quebec (see figure 3.1). Given that the total farms in 2021 was 17274, the proportion of farms under organic agriculture, conservation tillage and no-till in Quebec were respectively 13.4 %, 50.5 % and 28.6 %. This has been accompanied by a spectacular increase of farmland under conservation tillage and no-till in Quebec as illustrated in figure 3.2.

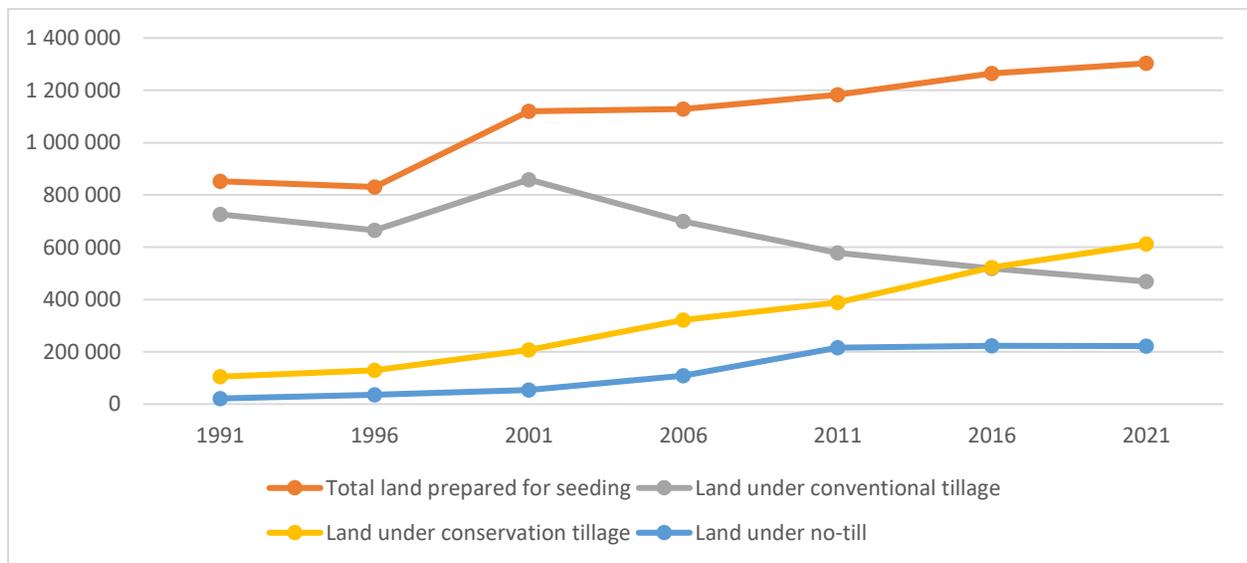
⁶ The value is computed using data from Statistics Canada (2022a).

Figure 3.1: Number of farms under organic agriculture, conservation tillage, no-till and conventional tillage between 1991 and 2021 in Quebec



Source: Adapted from Statistics Canada (2017, 2022a, 2022b)

Figure 3.2: Farmland under conservation tillage, no-till and conventional tillage between 1991 and 2021 in Quebec (in hectare)



Source: Adapted from Statistics Canada (2022a)

Despite the increase of alternative agriculture in Quebec, the debate on the performance (economic, social and environmental) of the so called alternative agricultural practices persists amongst scholars and citizens in the society. Several researchers have reported the benefits of organic agriculture as compared to

conventional agriculture in terms of increased soil quality (Mendoza, 2004), increased soil organic matter (Mendoza, 2004), increased profitability (MacRae *et al.*, 2007; Mendoza, 2004), reduced energy consumption (Clark et Tilman, 2017; Mendoza, 2004), biodiversity conservation, reduction of greenhouse gas emission (Clark and Tilman (2017), reduction of risk of exposition of farmers to chemical pesticides, provision of employment (Jouzi *et al.*, 2017), the nutritional quality of food (Reganold et Wachter, 2016), increased food security and dietary diversity (Jouzi *et al.*, 2017; Reganold et Wachter, 2016).

However, these benefits of organic agriculture could be threatened by several adverse factors such as lower yield, eutrophication potential and higher land requirement per unit of food produced than conventional agriculture (Clark et Tilman, 2017). Other studies have instead focused on the performance of tillage practices (Afshar et Dekamin, 2022; Król-Badziak *et al.*, 2021; PariharJat, *et al.*, 2016; Verch *et al.*, 2009) and found a debatable performance of tillage practices. For example, Verch *et al.* (2009) have compared the profitability of conventional tillage (CT), reduced tillage (RT) and direct seeding (DS) in Northeast Germany from 2002 to 2005 and found that the best profitable practice at the midpoint of the trial period was RT, followed by DS and CT with respectively net returns of 111 euros/ ha, 55 Euros/ ha and -7 Euros/ ha respectively.

Although the greater profitability of direct seeding over conventional tillage was also obtained by PariharJat *et al.* (2016) and Afshar et Dekamin (2022), many other studies have identified conventional tillage as the best profitable agricultural practice followed by RT and NT, despite the highest cost of CT due to fact that more intensive tillage requires more fuel, more labour, more drying time, etc. (Król-Badziak *et al.*, 2021). This greater profitability of CT is due to its higher yield as compared to RT and NT (Król-Badziak *et al.*, 2021) even though in some studies the yield of NT was greater (PariharJat, *et al.*, 2016) or statistically equivalent to that of CT (Morrison *et al.*, 2017). A recent study showed that NT and RT provide respectively 31% and 12% less employment than CT but at the same time the study also found a higher health risk for NT and RT than for CT due to high use of biocides (Król-Badziak *et al.*, 2021).

Though previous studies have provided valuable information on the performance of organic farming, reduced tillage, direct seeding and conventional tillage, there are limited studies that have examined the sustainability of organic farming, reduced tillage, direct seeding and conventional tillage when they are used in combination with crop rotation / intercropping and cover crop; whereas the statistics show an increasing adoption of conservation agriculture (no or minimum mechanical soil disturbance, crop rotation

and permanent mulch soil cover/cover crop) over years and across the globe (Kassam *et al.*, 2018). Even if several studies have shown among others the positive effects of crop rotation on crop yield (Gagnon *et al.*, 2019; Reckling *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2020); the positive effect of intercropping on crop yield (Zhang, Y. *et al.*, 2022), on gross energy production, income and land sparing (Martin-Guay *et al.*, 2018) and the positive effect of cover crop on soil and water conservation (Korucu *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020), on fertilizer retention in surface, earthworm population (Korucu *et al.*, 2018), a holistic sustainability evaluation of the interaction between crop rotation and soil cover crop and direct seeding, reduced tillage and conventional tillage is still lacking.

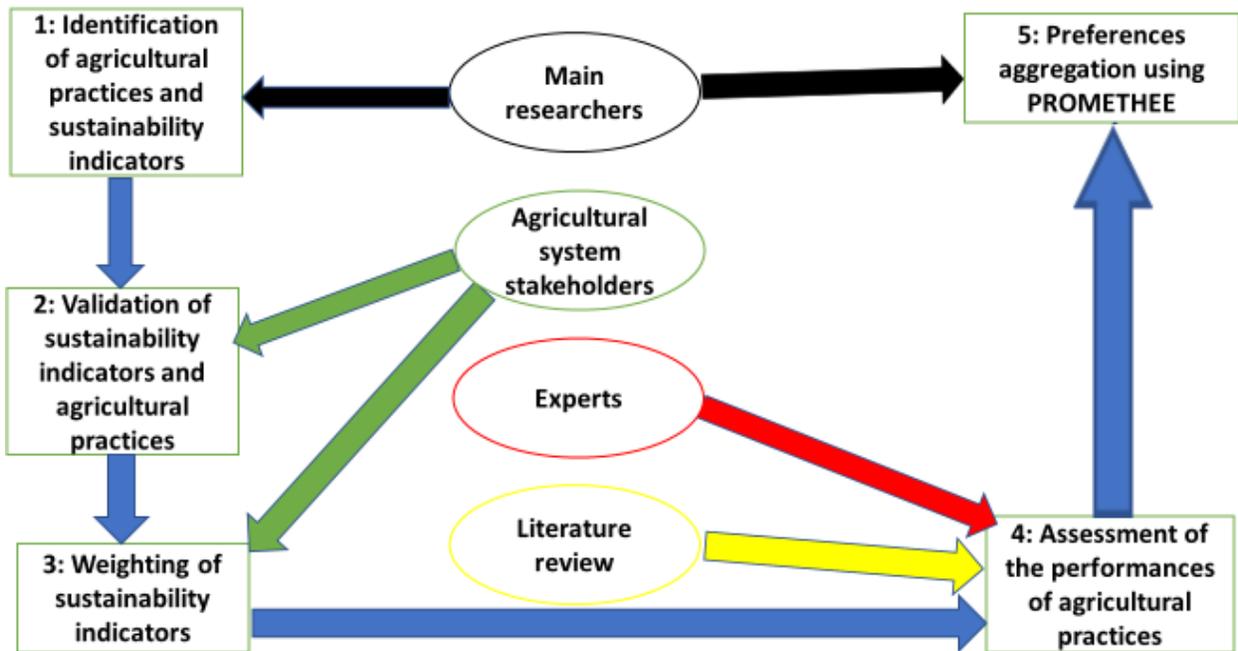
The objective of the study was then to fill this gap by carrying out a sustainability assessment of agricultural practices. This objective was achieved through the use of multicriteria decision method which is a suitable method for studying the multidimensionality of agricultural sustainability and to integrate the public point of view which is often conflictual (Munda, 2004). Our study differs from previous studies (Craheix *et al.*, 2016; Król *et al.*, 2018) as it explicitly analyses the interactive effect of soil cover crop and other agricultural practices including reduced tillage, direct seeding and crop rotation. To enhance the social acceptability of the sustainability assessment, a participatory approach was adopted where sustainability indicators and their relative weights were provided by a panel of stakeholders belonging to the Quebec's agricultural system.

The remainder of the paper is organised in four sections. Methodological approach is addressed in section two while the results and discussions are presented in the third part. The conclusion and recommendation are stated in section four.

3.2 Methodology

To achieve the objective of this study, we followed a five step-approach as follows: (1) Identification of agricultural practices and sustainability indicators; (2) validation of agricultural practices and sustainability indicators; (3) weighting of sustainability indicators; (4) evaluation of agricultural practices; (5) multicriteria aggregation of preferences and ranking of agricultural practices. Our approach is synthesized in figure 3.3.

Figure 3.3: Methodological framework



3.2.1 Identification of agricultural practices and sustainability indicators

The identification of agricultural practices was done by the authors. The initial list of agricultural practices was proposed based on the combination of the following practices (direct seeding, reduced tillage, conventional tillage, crop rotation, crop monoculture, dead cover crops, living cover crops, mulching and use of chemical inputs)⁷ and then discussed with other members of research group including agronomists. We have focused on those practices as they are the main agricultural practices observed in maize and soybean production in Quebec. In summary, a total of 20 agricultural practices were selected at this stage.

A list of sustainability criteria and indicators was also proposed by the research group at this stage. These criteria and indicators were selected based on the literature review (Bausch *et al.*, 2014; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010; Tzouramani *et al.*, 2020) and adapted from the Sustainability Assessment of Farming and the Environment (SAFE) framework developed by Van Cauwenbergh *et al.* (2007). The SAFE framework models the sustainability using a hierarchy of four levels (principles, criteria, indicators and reference values) based on the different natural and semi-natural ecosystems' functions summarized in de Groot *et al.* (2002). The SAFE framework model was preferred as it can be easily combined with other methods such as multicriteria to assess the sustainability of agricultural systems. Two criteria guided the

⁷ The definitions of practices are presented in annex C.

choice of indicators including the simplicity (in terms of measurement) and the ability of indicators to represent the phenomenon under study. Moreover, most indicators used in this study (quantities of used phosphorus and nitrogen, and quantity of organic matter, gross margin, contribution to GDP, energy balance, etc.) were adapted from Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez (2010) and Gomez-Limon et Riesgo (2009) that developed a framework for studying agricultural sustainability. For example, gross margin and contribution to GDP were used as economic indicators as they measure respectively farmer's income and the whole wealth created by agricultural activity for society (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). We also selected quantities of used phosphorus and nitrogen, and quantity of organic matter to measure chemical soil quality because of its simplicity and its direct link with the chemical soil quality of a farm. Health risk index (IRPeQ-S) and environmental risk index (IRPeQ-E) were used to measure respectively farm community physical health and agricultural ecotoxicity. These two tools have been developed by the Quebec government to diagnose and help improving the management of pesticides at farmer, sectoral and provincial levels (Samuel *et al.*, 2012). They are particularly interesting tools for measuring farm community physical health and agricultural ecotoxicity of agricultural practices as they consider the acute and chronic toxicity of pesticides, the bioavailability potential of pesticides, the properties of pesticides that influence their fate and behaviour in the environment, and the ecotoxicological potential of pesticides (Samuel *et al.*, 2012). Number of help calls or number of consultations with line social workers was used for measuring farm community mental health. The choice of this indicator can be justified by the key role that social workers perform as avant-gardists in detecting mental health issues among farmers and providing assistance to them. The choice of remaining indicators was more evident as they are commonly used for comparing agricultural practices. For example, crop yield (Agomoh *et al.*, 2021; Paré *et al.*, 2015), contribution to employment (Król-Badziak *et al.*, 2021), species balance index (Lupwayi *et al.*, 2017), volume of soil loss (Seitz *et al.*, 2018), and others have been used in previous studies for comparing agricultural practices.

3.2.2 Validation of sustainability indicators and agricultural practices

The validation of sustainability indicators and agricultural practices was done by the agricultural system stakeholders during a focus group organised in December 2020. The agricultural system stakeholders groups were identified through the use of CATWOE model of an adapted soft system methodology presented and validated in (Guay, Jean-François et Waaub, 2015). CATWOE mnemonics stand respectively for Customers (C), Actors (A), Transformation process (T), Weltanschauung (W), Owner (O) and Environment (E) (Checkland, 1989). The definitions of CATWOE mnemonics, the examples of CATWOE and

the characteristics of the process are presented in table 3.1. In summary 9 participants from stakeholders groups attended the focus group. These participants came respectively from agricultural research institutions (2 experts), environmental organisations (2 NGO), the *Financière Agricole du Québec* FADQ (1), a regional county municipality MRC (1), an agricultural advising club CLUB (1), the *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faunes et des Parcs* MELCCFP (1) and a grain producer association (1 farmer). The focus group discussion with the participants permitted to retain 36 agricultural practices and 21 sustainability indicators as represented in table 3.2 and 3.3 respectively. During the focus group, an initial list of agricultural practices and sustainability indicators was first presented to the participants and the participants were then invited to provide their comments on the relevance of the different sustainability indicators and agricultural practices. The final list of sustainability indicators and agricultural practices were then built based on the suggestions of participants.

Table 3.1 Agricultural system model

Components (CATWOE)	Definition	Example	Characteristic of the process
Customers (C)	There are beneficiaries or victims of the transformation process.	Farmers Population	Consumption of ecosystem goods and services, consumption of ecosystem disservices.
Actors (A)	Stakeholders that run the transformation process.	Agro-industry Farmers Experts Environmental organisations, farmers union and consumers union <i>La financière agricole du québec (FADQ)</i> Agro-industry Agricultural advising club	Processing of agricultural goods. Production of ecosystem goods and services, production of ecosystem disservices. Production of knowledge and agricultural innovations. Analyse, influence and facilitate the transformation process. Provide financial assistance to farmers Production of agricultural inputs Provide technical assistance to farmers
Transformation process (T)	Process that changes the inputs into outputs in the system.	Input: agricultural land, agricultural input Output: Food, ecosystem goods and services	Transformation of inputs into outputs
Owner (O)	The decision maker that has the capacity to regulate the system.	<i>Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation (MAPAQ), ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs (MELCCFP), regional county municipality (RCM)</i>	Control the transformation process by adopting agri-environmental norms and policies and by coordinating the technical and financial help needed by regions for valuing agricultural areas.
Perception of the world (W)	Represents the desires, beliefs and intentions of different stakeholders of the system.	Sustainable agriculture, landscape quality, integrity of agricultural area, economic prosperity, healthy environment, multifunctionalities, biodiversity and environmental protection	Provide a meaning to the transformation process.
Environment (E)	There are potential or actual constraints related to the transformation process.	Climate change, land use conflict and foreign	Influence the transformation process

Table 3.2: Agricultural practices

Agricultural practices	Characteristics of agricultural practices				
	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3	Agricultural residues	Input
1-DMC1	Direct seeding	Crop rotation	Presence of living cover crops	Yes	Chemical
2-DMC2	Direct seeding	Crop rotation	Presence of dead cover crops	Yes	Chemical
3-DS1	Direct seeding	Crop rotation	Absence of cover crops	Yes	Chemical
4-DS2	Direct seeding	Crop monoculture	Presence of living cover crops	Yes	Chemical
5-DS3	Direct seeding	Crop monoculture	Presence of dead cover crops	Yes	Chemical
6-DS4	Direct seeding	Crop monoculture	Absence of cover crops	Yes	Chemical
7-CA1	Reduced tillage	Crop rotation	Presence of living cover crops	Yes	Chemical
8-CA2	Reduced tillage	Crop rotation	Presence of dead cover crops	Yes	Chemical
9-RT1	Reduced tillage	Crop rotation	Absence of cover crops	Yes	Chemical
10-RT2	Reduced tillage	Crop monoculture	Presence of living cover crops	Yes	Chemical
11-RT3	Reduced tillage	Crop monoculture	Presence of dead cover crops	Yes	Chemical
12-RT4	Reduced tillage	Crop monoculture	Absence of cover crops	Yes	Chemical
13-CT1	Conventional tillage	Crop rotation	No intercropping	No	Chemical
14-CT2	Conventional tillage	Crop rotation	Presence of intercrops	No	Chemical
15-CT3	Conventional tillage	Crop monoculture	No intercropping	No	Chemical
16-CT4	Conventional tillage	Crop monoculture	Presence of intercrops	No	Chemical
17-OF1	Conventional tillage	Crop rotation	Presence of intercrops	No	Organic
18-OF2	Conventional tillage	Crop rotation	No intercropping	No	Organic
19-OF3	Conventional tillage	Crop monoculture	No intercropping	No	Organic
20-OF4	Conventional tillage	Crop monoculture	Presence of intercrops	No	Organic
21-DMC1	Direct seeding	Crop rotation	Presence of living cover crops	Yes	Organic
22-DMC2	Direct seeding	Crop rotation	Presence of dead cover crops	Yes	Organic
23-DS1	Direct seeding	Crop rotation	Absence of cover crops	Yes	Organic
24-DS2	Direct seeding	Crop monoculture	Presence of living cover crops	Yes	Organic
25-DS3	Direct seeding	Crop monoculture	Presence of dead cover crops	Yes	Organic
26-DS4	Direct seeding	Crop monoculture	Absence of cover crops	Yes	Organic
27-CA1	Reduced tillage	Crop rotation	Presence of living cover crops	Yes	Organic
28-CA2	Reduced tillage	Crop rotation	Presence of dead cover crops	Yes	Organic
29-RT1	Reduced tillage	Crop rotation	Absence of cover crops	Yes	Organic
30-RT2	Reduced tillage	Crop monoculture	Presence of living cover crops	Yes	Organic
31-RT3	Reduced tillage	Crop monoculture	Presence of dead cover crops	Yes	Organic
32-RT4	Reduced tillage	Crop monoculture	Absence of cover crops	Yes	Organic
33-CT1	Conventional tillage	Crop rotation	No intercropping	No	Organic

34-CT2	Conventional tillage	Crop rotation	Presence of intercrops	No	Organic
35-CT3	Conventional tillage	Crop monoculture	No intercropping	No	Organic
36-CT4	Conventional tillage	Crop monoculture	Presence of intercrops	No	Organic

DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, DS: Direct seeding, CA: Conservation agriculture, RT: Reduced tillage, CT: Conventional tillage, OF: Organic farming.

Table 3.3: Sustainability indicators

Dimension	Issues	Criteria	Indicators	Codes	Unit of account	Max/Min
Environment	Contribution to climate change	Net soil greenhouse gas emissions	1) Net CO ₂ emission per hectare	EN1	ton / ha	Min
		Agricultural inputs' greenhouse gas emission (fuel and fertilizer)	2) Net CO ₂ emission from inputs per hectare	EN2	ton / ha	Min
	Soil conservation Soil health	Soil erosion	3) Volume of soil lost	EN3	ton/ha/year	Min
		Physical soil quality	4) Soil structure	EN4	Ordinal	Max
		Chemical soil quality-	5) Quantity of used nitrogen	EN5	kg N/ha	Min
			6) Quantity of used phosphorus	EN6	kg P/ha	Min
			7) Quantity of organic matter	EN7	g/kg	Max
	Water resources	Soil water supply	8) Soil water content	EN8	Percentage	Max
	Biodiversity conservation	Plant biodiversity	9) Number of planted species (commercial crop + cover crop + plant for riparian strips or windbreak hedge plant)	EN9	Number of species	Max
				10) Species balance index	EN10	Percentage	Max
		Animal biodiversity	11) Number of animal species in the farm	EN11	Number of species	Max
	Energy expenditure	Energy consumption	12) Energy balance	EN12	kcal/ha	Max
	Ecosystem health		Agricultural ecotoxicity	13) Environmental risk index (IRPeQ-E)	EN13	Natural number	Min
Economy	Profitability	Farm income	14) Gross margin (Sales – variable costs)	EC1	CAD/ha	Max
		Contribution to GDP	15) Crop revenue – subsidy	EC2	CAD/ha	Max
Social	Farm community well-being	Jobs created	16) Number of jobs generated by the agricultural practice	SO1	Natural number	Max
		Farm community mental health	17) Number of help calls or number of consultations with line social workers.	SO2	Natural number	Min
		Farm community physical health	18) Health risk index (IRPeQ-S)	SO3	Natural number	Min
		Harvest product quality	19) Presence of pesticide residues in the harvest products	SO4	Micrograms	Min

Social acceptability	Quality of rural-urban cohabitation	20) Number of cohabitation conflicts or number of complaints for odour or for the use of pesticides	SO5	Natural number	Min
Agricultural production	Ability to meet high food demand	21) Crop yield	SO6	ton/ha	Max

EN: Environmental indicator, EC: Economic indicator, SO: Social indicator, GDP: Gross Domestic Product.

3.2.3 Weighting of sustainability indicators: Analytical hierarchy process

Two broad approaches (positive and normative approaches) exist to assign weight to different indicators. While positive approaches such as principal component analysis, regression analysis and data envelopment analysis rely on statistical procedure for weighting of different indicators without value judgement, normative approaches use experts or decision maker's opinions to attribute weight to indicators (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). Following Tzouramani *et al.* (2020), we used a normative approach and the weighting of sustainability indicators was done by the eight⁸ focus group participants during a follow up survey⁹. The normative approach was preferred over the positive approaches as it allows to capture social preferences, here represented by agricultural system stakeholders' preferences (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). The selection and weighting of sustainability indicators by agricultural system stakeholders are in fact good way to integrate social preferences into the sustainability assessment of agricultural practices which further enhances the quality of assessment and the acceptability of results (Munda, 2005). Following Takam Fongang *et al.* (2023), we used the analytical hierarchy process (AHP) to weight the sustainability indicators. Although the AHP was initially developed for complex decision taking (Saaty, 1990, 1994), past studies also used it for weighting indicators in the literature (Fallah-Alipour *et al.*, 2018; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010).

We proceeded in four steps to derive the weights of sustainability indicators. The full process is synthesized in figure 3.4. Firstly, we have structured the problem into hierarchy where at the top level, the upper intermediate level, the lower intermediate, the lower level and the bottom level we have respectively the goal (sustainable agricultural practice), dimensions, issues, criteria and indicators of agricultural sustainability.

Secondly, after the hierarchical structuration of the problem, we invited the stakeholders to perform the pairwise comparison judgements between dimensions, issues, criteria and indicators of sustainability during a follow up survey after the focus group. Questions like "Which dimension between economic and social dimensions is more important for you to assess the sustainability of agricultural practices?", "Which issue between the issues contribution to climate change and biodiversity conservation is more important for you to assess the sustainability of agricultural practices?", or "Which criterion between the criteria

⁸ One focus group participant did not attend the follow up survey after the focus group discussion.

⁹ The questionnaire of the follow up survey is presented in annex D.

quantity of used nitrogen and quantity of organic matter is more important for you to assess the sustainability of agricultural practices?” were used to collect pairwise comparison judgements of each participant and the responses to the questions were based on the Saaty’s scale presented in table 3.4 (Saaty, 1990).

Table 3.4: Saaty’ scale

Value	Verbal explanation
1	Equal importance between <i>i</i> and <i>j</i>
3	Moderate importance of <i>i</i> over <i>j</i>
5	Strong importance of <i>i</i> over <i>j</i>
7	Very strong importance of <i>i</i> over <i>j</i>
9	Extreme importance of <i>i</i> over <i>j</i>
2, 4, 6 et 8	Intermediate values

i and *j* stand for two dimensions, two issues, two criteria or two indicators of sustainability.

Thirdly, the responses to questions allowed us to build ten pairwise comparison matrices of which one is for dimension level, two for issue level, six for criterion level and one for indicator level. All matrices are of type $M = (m_{ij})$, with $m_{ij} = t$ and $m_{ji} = \frac{1}{t}$ (3.1)

where t is the relative importance of *i* over *j* which can take any integer from 1 to 9.

Fourthly, local priorities were obtained by solving the following equation:

$$Mw = \lambda_{\max}w \quad (3.2)$$

Where w is the principal eigenvector or the vector of local priorities and λ_{\max} the principal eigenvalue of matrix M . Finally, global priorities or weights of sustainability indicators were obtained by the formula below:

$$GP_{in} = w_d * w_{is} * w_c * w_{in} \quad (3.3)$$

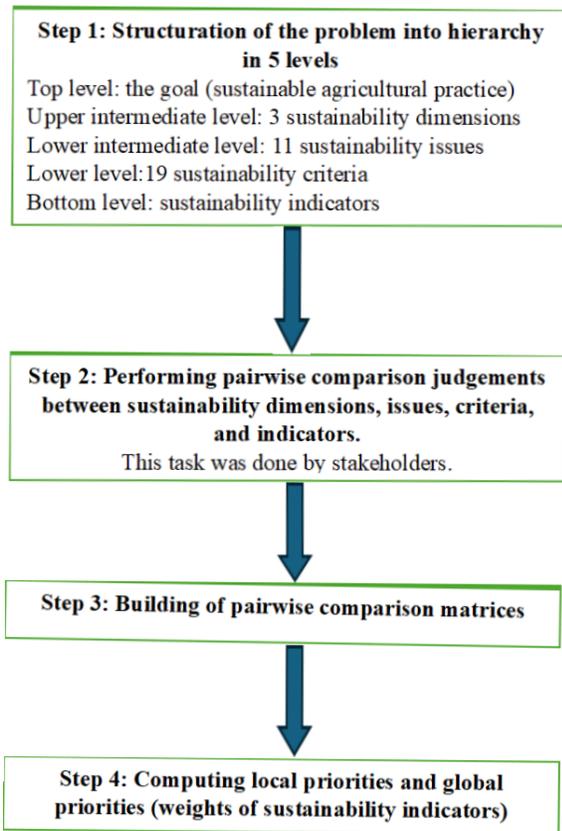
Where GP_{in} , w_d , w_{is} , w_c and w_{in} stand respectively for global priority or weight of sustainability indicator, local priorities of dimensions, issues, criteria and indicators of sustainability. Given that pairwise comparison judgment elicitation could be subject to inconsistency¹⁰ (Saaty, 1994), we computed the consistency ratio (CR) and used the 10% bound for maximum tolerable inconsistency as suggested by Saaty (1990). We also assumed equal local priorities (or equal weights) for all judgements that were considered inconsistent that is judgements with consistency ratio greater than 10%. The consistency ratio is obtained by the formula below:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.4)$$

Where $CI = \frac{\lambda_{max} - \alpha}{\alpha - 1}$ is the consistency index, λ_{max} is the principal eigenvalue of matrix M and α the number of elements (dimensions, issues, criteria or indicators of sustainability) at the junction. RI is the random index which is the consistency index obtained from a randomly generated reciprocal matrix of the same order. The overall calculation was done by the use of the software Expert Choice.

¹⁰ Inconsistency occurs when redundant comparisons of some elements lead to multiple preference of an element with other elements Thomas L. Saaty, «How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process», *Interfaces* 24, no. 6 (1994).

Figure 3.4 Weighting process.

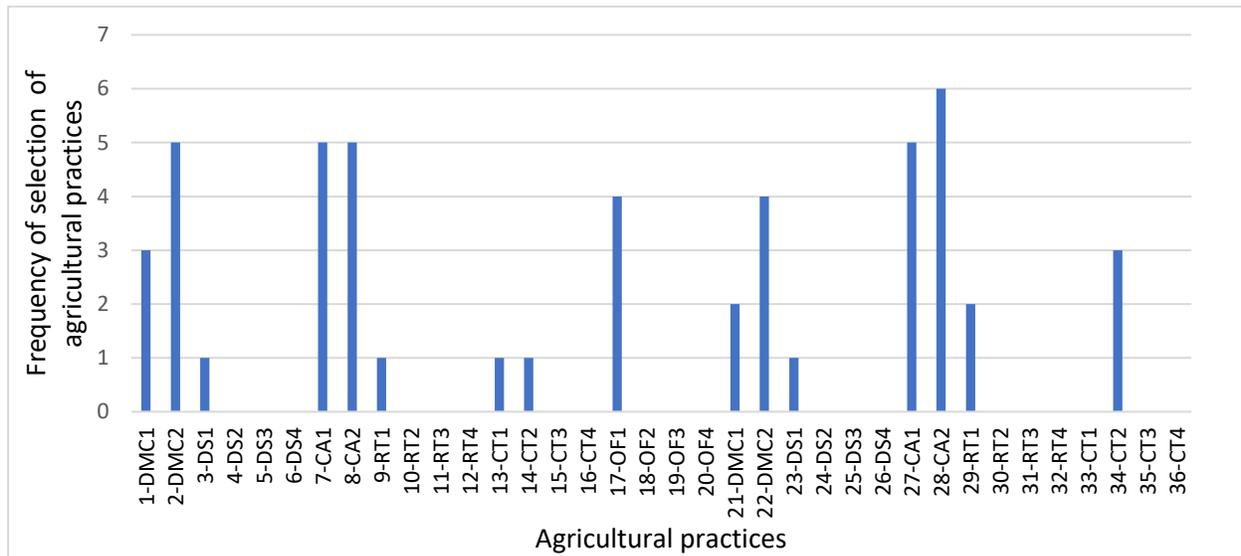


3.2.4 Evaluation of agricultural practices

The evaluation of agricultural practices was performed in two successive steps. Under the first step, a primary evaluation was done by a panel of experts during a focus group organised in May 2021. Eight experts participated to the evaluation process, and they were all selected based on their academic experience in relation to agricultural sustainability. The list of experts and their relative experiences is presented in annex E.

Given the high number of agricultural practices to be evaluated (36 agricultural practices), experts were invited to select their five most sustainable agricultural practices among the 36 in a rapid online survey before the focus group. The results of this survey were then presented to the experts during the focus group to lay the foundation of the discussion. After the focus group discussion, the experts were again invited to select their five most sustainable agricultural practices during a follow up survey. The results of this follow up survey are presented in figure 3.5.

Figure 3.5: The most sustainable agricultural practices



DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, DS: Direct seeding, CA: Conservation agriculture, RT: Reduced tillage, CT: Conventional tillage, OF: Organic farming.

As can be seen in figure 3.5 above, the 5 agricultural practices that were considered as the most sustainable by the experts were the agricultural practices 28-CA2, 27-CA1, 7-CA1, 8-CA2 and 2-DMC2. Their frequencies of selection were respectively 6 for 28-CA2 and 5 for 27-CA1, 7-CA1, 8-CA2 and 2-DMC2. These 5 agricultural practices were therefore selected for further sustainability assessment.

The further sustainability assessment constitutes the second step of the evaluation process. This step consisted of ranking the five agricultural practices on the 21 sustainability indicators of table 3.3. For each sustainability indicator, it was asked experts to rank the five agricultural practices. This ranking was again carried out by the experts during a post focus group discussion survey. At this time, only four experts out of the eight filled the evaluation section of the questionnaire. This questionnaire is presented in annex F.

3.2.5 Aggregation of preferences and ranking of agricultural practices

A Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) was used for ranking of agricultural practices in this study. A standard MCDA involves 5 steps in the following order: (a) definition of the decision problem or the objective, (b) fixing evaluation criteria and constraints, (c) determining the importance or weight of criteria with regard to the objective, (d) aggregation of all information and (e) the ranking of alternatives here the 5 agricultural practices (Tsakalerou *et al.*, 2022).

Various multicriteria methods including PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method of Enrichment Evaluations), ELECTRE (Elimination and Choice expressing the Reality), AHP, namely are often used in literature for sustainability assessment (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017). These multicriteria methods can be classified into five groups including (1) distance function methods (e.g., goal programming, reference point); (2) outranking methods (e.g., ELECTRE, PROMETHEE), (3) hierarchical methods (e.g., AHP, analytical network process); (4) ranking and classification methods (e.g., data envelopment analysis) and (5) optimizing average methods (e.g., multi-attribute utility theory, weighted arithmetic mean, geometric aggregation) (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017). Despite the abundance of multicriteria methods, there is no best method (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017). Indeed, each method has its own advantages and disadvantages. For example, while methods based on the utility theory are not subject to rank reversal (Cinelli *et al.*, 2014), they remain difficult to implement (Caillet, 2003). On the contrary, outranking methods require less information to be implemented (Caillet, 2003) but they could be affected by rank reversal (Cinelli *et al.*, 2014). Given that, there is no best multicriteria method, the choice of the method must rely on the characteristics of the problem under study (Diaz-Balteiro *et al.*, 2017; Talukder *et al.*, 2017).

We pointed out the PROMETHEE method to be used in this study for several reasons (Brans et Mareschal, 1990a) : it takes into consideration the amplitude of differences between the scores obtained by the alternatives (here agricultural practices) on various and often contradicting criteria; it neutralizes the scale effects often observed between criteria; it takes into account the possibility of incomparability between alternatives; it is simple and then easily understandable by the policy maker as it does not requires a strong background in mathematical science it does not use technical parameters which are not economically relevant. One another and important advantage of PROMETHEE is that it is non-compensatory meaning that worse performance on some criteria can not be compensated by better performance on another criteria (Edjossan-Sossou *et al.*, 2020). Compensatory methods do not allow for nuance as they do not support incomparability neither between alternatives nor criteria. Thus, any difference in the assessment, even slightest one, could determine the preference for a so-called strictly preferred scenario. As a result, the preferential situation resulting from the comparison of two scenarios may not be conclusive (Guay et Waaub, 2019). Finally, PROMETHEE also allows to carry out criteria weight sensitivity analysis (Nigussie *et al.*, 2018).

PROMETHEE method can be formalized as follows:

Let $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ be a set of 5 agricultural practices to be evaluated on a set of 21 agricultural sustainability indicators $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_{21}\}$. The performance of the five agricultural practices on the 21 agricultural sustainability indicators can be used to form a 5×21 evaluation matrix of which rows and columns describe respectively the agricultural practices and their performances on the agricultural sustainability indicators. The next step after the construction of the evaluation matrix is the pairwise comparisons of the agricultural practices. This task was done through the use of preference function of type 1 defined in Brans et De Smet (2016). This preference function was selected as it is adapted for qualitative criteria (Guay et Waub, 2019). The detail of other 5 preference functions can be seen in (Brans et De Smet, 2016). According to the preference function of type 1, the degree of preference between two agricultural practices A_i and A_j over the agricultural sustainability indicators (criteria) S_k is expressed as follows:

$$P_k(A_i, A_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } f_k(A_i) - f_k(A_j) \leq 0 \\ 1 & \text{if } f_k(A_i) - f_k(A_j) > 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

where $P_k(A_i, A_j)$ represents the degree of preference between agricultural practices A_i and A_j ; and $f_k(A_i)$ and $f_k(A_j)$ represent respectively the scores of agricultural practices A_i and A_j over the agricultural sustainability indicator (criterion) S_k . Once the pairwise comparisons of agricultural practices are made, their results can be used to compute the following quantities for each stakeholder r (Macharis *et al.*, 2004):

- The preference index $\pi(A_i, A_j)$ of agricultural practice A_i over agricultural practice A_j over all agricultural sustainability indicators (criteria)

$$\pi_r(A_i, A_j) = \sum_{k=1}^{21} w_{rk} P_k(A_i, A_j) \quad (3.6)$$

$$\text{with } \sum_{k=1}^{21} w_{rk} = 1 \text{ and } i \neq j \quad (3.7)$$

Where w_{rk} is the weight associated with the agricultural sustainability indicator S_k for stakeholder r .

- The positive outranking flow $\phi^+(A_i)$ of agricultural practice A_i is determined by the formula below:

$$\phi_r^+(A_i) = \frac{1}{5-1} \sum_{j=1}^5 \pi_r(A_i, A_j) \text{ with } i \neq j \quad (3.8)$$

The positive outranking flow $\phi_r^+(A_i)$ expresses how strongly an agricultural practice A_i dominates all other agricultural practices. A higher $\phi_r^+(A_i)$ implies a greater dominance of the agricultural practice (Brans and De Smet, 2016).

- The negative outranking flow $\phi_r^-(A_i)$ of agricultural practice A_i is determined by the formula below:

$$\phi_r^-(A_i) = \frac{1}{5-1} \sum_{j=1}^5 \pi_r(A_j, A_i) \text{ with } i \neq j \quad (3.9)$$

The negative outranking flow $\phi_r^-(A_i)$ expresses how strongly an agricultural practice A_i is dominated by all the other agricultural practices. A smaller $\phi_r^-(A_i)$ implies a lower domination of the agricultural practice by the others (Brans and De Smet, 2016).

The outranking flows were then used to compute the net outranking flow $\phi_r(A_i)$ as follows:

$$\phi_r(A_i) = \phi_r^+(A_i) - \phi_r^-(A_i) \quad (3.10)$$

The higher $\phi_r(A_i)$, the better is the agricultural practice A_i for stakeholder r .

The final ranking was obtained by averaging the ranking obtained from stakeholders. Therefore, the net outranking flow of the whole group (stakeholders) is as follows:

$$\phi(A_i) = \frac{1}{8} \sum_{r=1}^8 \phi_r(A_i) \quad (3.11)$$

The higher $\phi(A_i)$, the better is the agricultural practice A_i . Positive, negative and zero net outranking flows imply respectively that the degree of dominance of the agricultural practice A_i over other agricultural practices is greater, less and equal to the degree of dominance of the agricultural practice A_i by other agricultural practices. Environmental, social and economic rankings of agricultural practices were obtained by repeating the calculations above while considering only environmental, social and economic indicators respectively. PROMETHEE analysis was run using the software Visual PROMETHEE.

3.3 Results and discussion

3.3.1 Weighting of sustainability dimensions and indicators

Tables 3.5 and 3.6 respectively present the weights of sustainability dimensions and the weight of sustainability indicators. Stakeholders placed a higher weight on the environmental dimension (41.57%) followed by the economic and social dimensions at 29.79% and 28.64%, respectively. These weightings differ from those in previous studies (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010; Król-Badziak *et al.*, 2021) due to the involvement of an extended expert panel, which included experts and other key stakeholders within the agricultural system. Although two important stakeholders (population and agroindustry) were absent during the focus group, the majority of stakeholders placed a higher weight on the environmental dimension. This indicates a clear willing of most stakeholders for environmentally friendly agricultural practices.

Although stakeholders globally placed a higher weight on the environmental, economic and social dimensions respectively; it is important to note that these weights hide a certain disparity between stakeholders. While most stakeholders assigned equal weights to economic, environmental, and social dimensions (NGO 1, FADQ, MELCCFP, experts 1 and 2), there were variations among others. Notably, farmers assigned a higher weight to economic and environmental dimensions (52.78% and 33.25%, respectively) and a lower weight to the social dimension (13.96%). This variance indicates significant disparities among stakeholders, underscoring the necessity of employing multicriteria decision aid methods to address conflicting views effectively.

Table 3.5: Weights of sustainability dimensions

Dimensions	All	Stakeholders								
		CLUB	NGO 1	FADQ	Expert 1	MELCCFP	NGO 2	Expert 2	Farmer	
Environment	40.86%	60.00%	33.33%	33.33%	33.33%	33.33%	66.94%	33.33%	33.25%	
Economy	31.03%	20.00%	33.33%	33.33%	33.33%	33.33%	8.79%	33.33%	52.78%	
Social	28.11%	20.00%	33.33%	33.33%	33.33%	33.33%	24.26%	33.33%	13.96%	
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Table 3.6: Weights of sustainability indicators

Sustainability criteria/indicators	All	Stakeholders							
		CLUB	NGO 1	FADQ	Expert 1	MELCCFP	NGO 2	Expert 2	Farmer
Net soil greenhouse gas emissions (EN1)	1.52%	0.59%	1.44%	0.64%	2.80%	0.79%	4.78%	0.60%	0.50%
Agricultural inputs' greenhouse gas emission (EN2)	3.08%	2.94%	4.32%	0.13%	2.80%	3.97%	4.78%	4.17%	1.50%
Soil erosion (EN3)	7.69%	9.95%	6.55%	12.85%	5.17%	4.76%	9.56%	4.76%	7.91%
Physical soil quality (EN4)	6.36%	16.81%	6.22%	6.09%	2.58%	3.97%	7.17%	2.38%	5.69%
Quantity of used nitrogen (EN5)	0.81%	1.13%	0.89%	0.64%	0.86%	0.26%	0.80%	0.23%	1.69%
Quantity of used phosphorus (EN6)	0.73%	0.49%	0.89%	1.57%	0.86%	0.26%	0.80%	0.25%	0.71%
Quantity of organic matter (EN7)	1.38%	2.58%	0.30%	3.88%	0.86%	0.26%	0.80%	1.90%	0.45%
Soil water supply (EN8)	6.32%	10.16%	6.42%	3.31%	5.61%	4.76%	9.56%	4.76%	5.99%
Plant biodiversity (EN9)	1.71%	0.71%	0.76%	0.64%	1.87%	1.59%	3.88%	2.16%	2.03%
Soil biodiversity (EN10)	1.97%	2.85%	0.76%	0.64%	1.87%	1.59%	4.60%	2.16%	1.28%
Animal biodiversity (EN11)	0.94%	0.71%	0.76%	0.64%	1.87%	1.59%	1.09%	0.43%	0.40%
Energy consumption (EN12)	3.23%	2.12%	1.12%	1.32%	0.78%	4.76%	9.56%	4.76%	1.41%
Agricultural ecotoxicity (EN13)	5.13%	8.97%	2.91%	0.98%	5.39%	4.76%	9.56%	4.76%	3.68%
Farm income* (EC1)	23.00%	15.00%	16.67%	25.00%	27.78%	27.78%	4.40%	27.78%	39.59%
Contribution to GDP* (EC2)	8.04%	5.00%	16.67%	8.33%	5.56%	5.56%	4.40%	5.56%	13.20%
Jobs created (SO1)	1.39%	2.22%	2.22%	0.37%	1.01%	1.01%	2.70%	1.08%	0.53%
Farm community mental health (SO2)*	3.62%	2.22%	2.22%	2.22%	5.05%	5.05%	2.70%	7.57%	1.89%
Farm community physical health (SO3)	4.05%	2.22%	6.67%	0.90%	5.05%	5.05%	2.70%	7.57%	2.24%
Harvest product quality (SO4)	6.59%	4.44%	5.56%	15.92%	9.72%	7.41%	4.04%	2.16%	3.49%
Quality of rural-urban cohabitation (SO5)	2.98%	2.22%	5.56%	5.31%	1.39%	3.70%	4.04%	0.43%	1.16%
Ability to meet high food demand (SO6)	9.48%	6.67%	11.11%	8.61%	11.11%	11.11%	8.09%	14.51%	4.65%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3.3.2 Performances of agricultural practices

The performances of agricultural practices are presented in table 3.7. These performances are provided by experts and are expressed in terms ranking where 5 and 1 are used to denote respectively the best and the worst agricultural practices. 4, 3 and 2 are intermediate ranks between the two extremes. When data are unavailable, the literature review is used to supplement the information. It's worth noting that, for the indicator 'farm community mental health,' similar values were assigned to all five agricultural practices due to a scarcity of relevant literature on the subject.

Table 3.7: Overall performances of agricultural practices

Sustainability dimensions	Criteria/indicators	2- DMC2	7- CA1	8- CA2	27- CA1	28- CA2
<i>Environmental dimension</i>	Net soil greenhouse gas emissions (EN1)	4	2	3	5	2
	Agricultural inputs' greenhouse gas emission (EN2)	1	5	2	4	3
	Soil erosion (EN3)	4	2	2	5	3
	Physical soil quality (EN4)	5	2	1	4	3
	Quantity of used nitrogen (EN5)	5	1	2	3	4
	Quantity of used phosphorus (EN6)	5	1	2	3	4
	Quantity of organic matter (EN7)	4	3	3	5	5
	Soil water supply (EN8)	5	3	3	4	4
	Plant biodiversity (EN9)	4	5	4	5	4
	Soil biodiversity (EN10)	5	3	3	4	4
	Animal biodiversity (EN11)	5	3	3	4	4
	Energy consumption (EN12)	5	4	4	3	3
	Agricultural ecotoxicity (EN13)	3	3	2	5	4
<i>Economic dimension</i>	Farm income* (EC1)	3	4	4	5	5
	Contribution to GDP* (EC2)	3	4	4	5	5
<i>Social dimension</i>	Jobs created (SO1)	1	2	3	4	5
	Farm community mental health (SO2)*	5	5	5	5	5
	Farm community physical health (SO3)	4	3	4	5	5
	Harvest product quality (SO4)	4	3	4	5	5
	Quality of rural-urban cohabitation (SO5)	4	3	4	5	5
	Ability to meet high food demand (SO6)	5	4	5	2	3

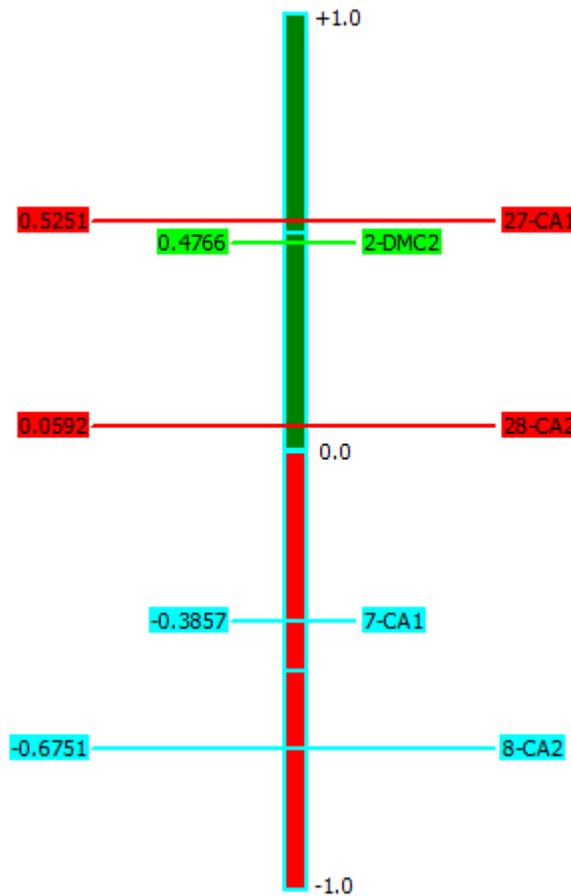
EN: Environmental indicator, EC: Economic indicator, SO: Social indicator, GDP: Gross Domestic Product, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, CA: Conservation agriculture.

3.3.2.1 Environmental performance

The environmental performances of agricultural practices are presented in table 3.7 and figure 3.6. Figure 3.6 shows the best environmentally friendly agricultural practice is 27-CA1 followed by 2-DMC2, 28-CA2, 7-CA1 and 8-CA2 respectively. Although 27-CA1 is globally ranked first in the environmental dimension, table 3.7 reveals that 27-CA1 is outperformed by 2-DMC2 in the following environmental indicators: physical soil quality, quantity of used nitrogen, quantity of used phosphorus, soil water supply, soil biodiversity, animal biodiversity and energy consumption. The good performances of 2-DMC2 are not very surprising as previous studies have reported several environmental advantages associated with 2-DMC2 adoption such as a reduction of fertilizers, fuel consumption and soil erosion (AFD, 2006; Scopel *et al.*, 2005); a reduction of soil compaction (Rabary *et al.*, 2008); a conservation of biodiversity (AFD, 2006); and a reduction of greenhouse gas emission (Corbeels *et al.*, 2006; Yadav *et al.*, 2018).

On the other hand, the best environmental performances of 27-CA1 is primarily attributed to the absence of chemical inputs like fertilizers and pesticides, which have been associated with increased greenhouse gas emissions and environmental pollution in prior research (Chandini *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2017). Despite the common finding that the use of organic fertilizers can lead to higher eutrophication potential (Clark *et al.*, 2017) due to temporal mismatches between nutrient demand of plant and nutrient availability (Jones *et al.*, 2005); this study suggests that the presence of living cover crops in 27-CA1 can mitigate these issues. This function of reducing nitrate leaching or nutrient runoff by cover crop has been documented in previous research (Thapa *et al.*, 2018). Furthermore, previous studies have highlighted the positive effect of combining organic crop management and reduced tillage on soil structure (Loaiza Puerta *et al.*, 2018) and soil erosion (Seitz *et al.*, 2018).

Figure 3.6: Environmental ranking of agricultural practices



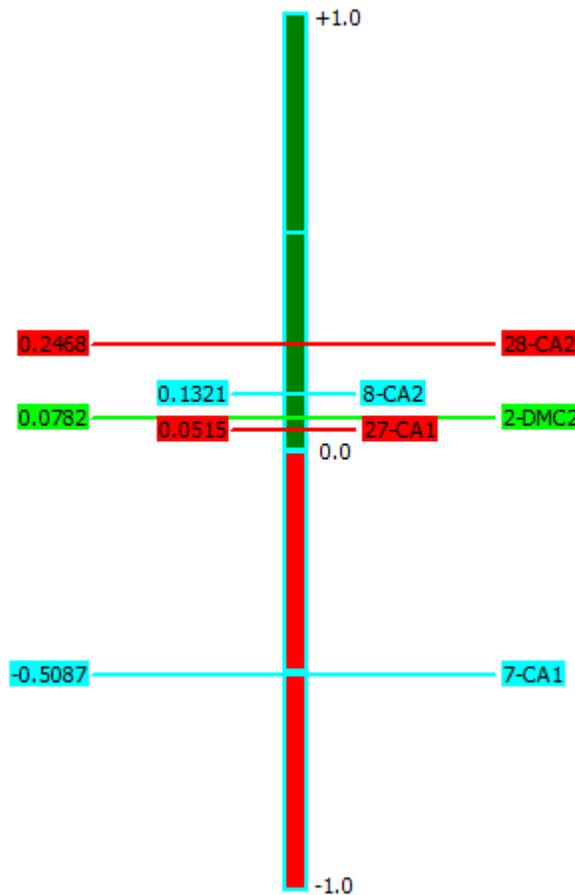
CA: Conservation agriculture, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system.

3.3.2.2 Social performance

The social assessment presented in figure 3.7 shows that the best agricultural practice is 28-CA2 followed respectively by 8-CA2, 2-DMC2, 27-CA1 and 7-CA1. Table 3.7 provides insights into the key factors explaining 28-CA2's best performance in the social dimension. This remarkable performance is attributed to several factors, including its capacity for job creation, the quality of harvest products, the quality of cohabitation it fosters, and the mental and physical health it offers to the farm community. This finding is in accordance with the literature since previous studies have shown the higher employment contribution of organic farming tillage and reduced tillage over conventional tillage (Mendoza, 2004) and direct seeding (Craheix *et al.*, 2016; Król-Badziak *et al.*, 2021) respectively. Furthermore, despite the typically lower yields obtained in organic farming, 28-CA2 (Seufert *et al.*, 2012), it is associated with better food quality, reduced exposure of workers to pesticide pollution (Reganold et Wachter, 2016) and could be used as adaptation measure to limit conflict between farmers and rural inhabitants (Hermelin-Burnol et Preux, 2021). Notably, it's essential to highlight that all agricultural practices under study (2-DMC2, 7-CA1, 8-CA2, 27-CA1, and

28-CA2) were assigned equivalent values for the criterion related to farm community mental health during the evaluation process. Although the literature has documented the presence of stress and its causes among farmers (Brennan *et al.*, 2022; Henning-Smith *et al.*, 2022); the impact of the studied agricultural practices on farmers' stress levels remains an unexplored area. Understanding this impact could be valuable in addressing the high prevalence of stress among Canadian farmers.

Figure 3.7: Social ranking of agricultural practices



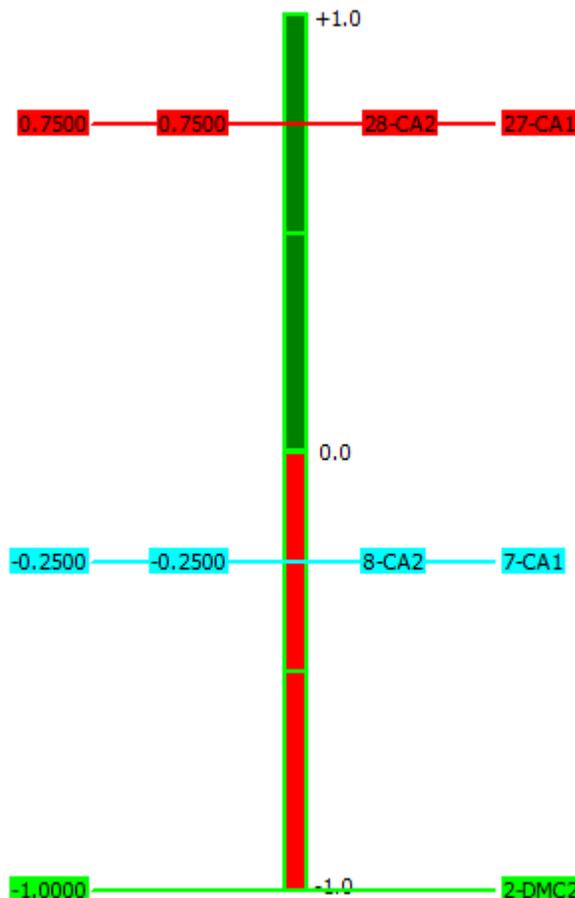
CA: Conservation agriculture, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system.

3.3.2.3 Economic performance

The economic assessment, depicted in Figure 3.8, reveals that organic farming practices, namely 27-CA1 and 28-CA2, exhibit the best economic performance, while 2-DMC2 ranks the lowest. 7-CA1 and 8-CA2 have similar economic performance and take the third rank (see Figure 3.8). The best economic performance of 27-CA1 and 28-CA2 is attributed to their higher profitability and contribution to GDP, as detailed in Table 3.7. It's remarkable that this enhanced profitability is achieved despite the lower yields

of 27-CA1 and 28-CA2, a characteristic also documented in previous studies (Reganold et Wachter, 2016; Seufert *et al.*, 2012). In Quebec, the profit margin for organic grains can be up to four times that of conventional farming methods (FLC, 2020). This greater profit margin can be explained by the premium prices that organic products command. The findings of this study align with those of Craheix *et al.* (2016) and Król-Badziak *et al.* (2021) both of which demonstrated the greater profitability of reduced tillage compared to direct seeding.

Figure 3.8: Economic ranking of agricultural practices



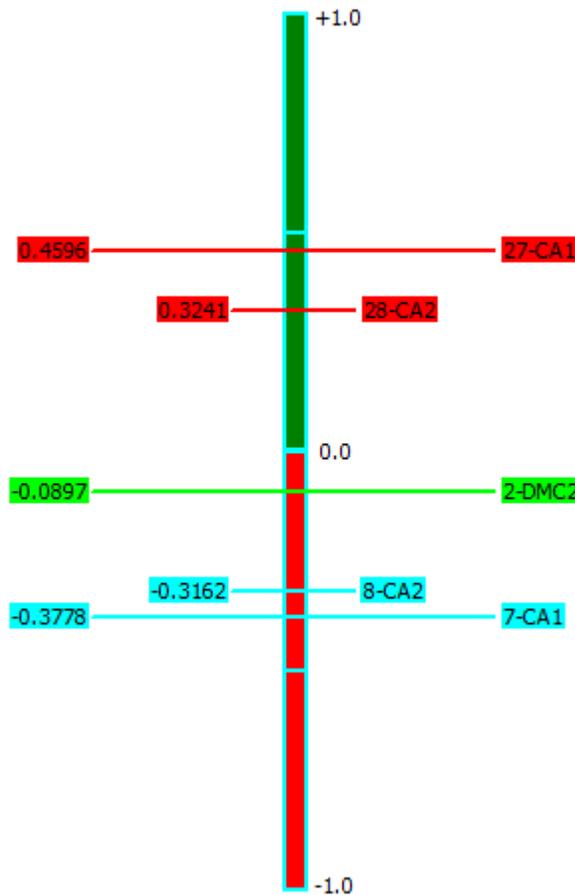
CA: Conservation agriculture, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system.

3.3.2.4 Global assessment

The results of global assessment are presented in Figure 3.9. The results show that the most sustainable agricultural practice is 27-CA1, and the least sustainable one is 7-CA1. 28-CA2, 2-DMC2 and 8-CA2 take the second, third, and fourth positions, respectively. 27-CA1 has performed better in economic and environmental dimensions, and lesser in social dimension. Several factors can explain the best overall

performance of 27-CA1 including among others, the higher profit, the higher independency (or contribution to GDP), the lower soil erosion, the lower agricultural ecotoxicity, the higher plant biodiversity, the higher employment level, the higher quality of harvest products and the higher level of farm community mental and physical health. Despite these advantages, the adoption of 27-CA1 could be limited by several factors such as lower yield, poor pest and weed management and increased labour requirements (Jouzi *et al.*, 2017).

Figure 3.9: Global final ranking of agricultural practices



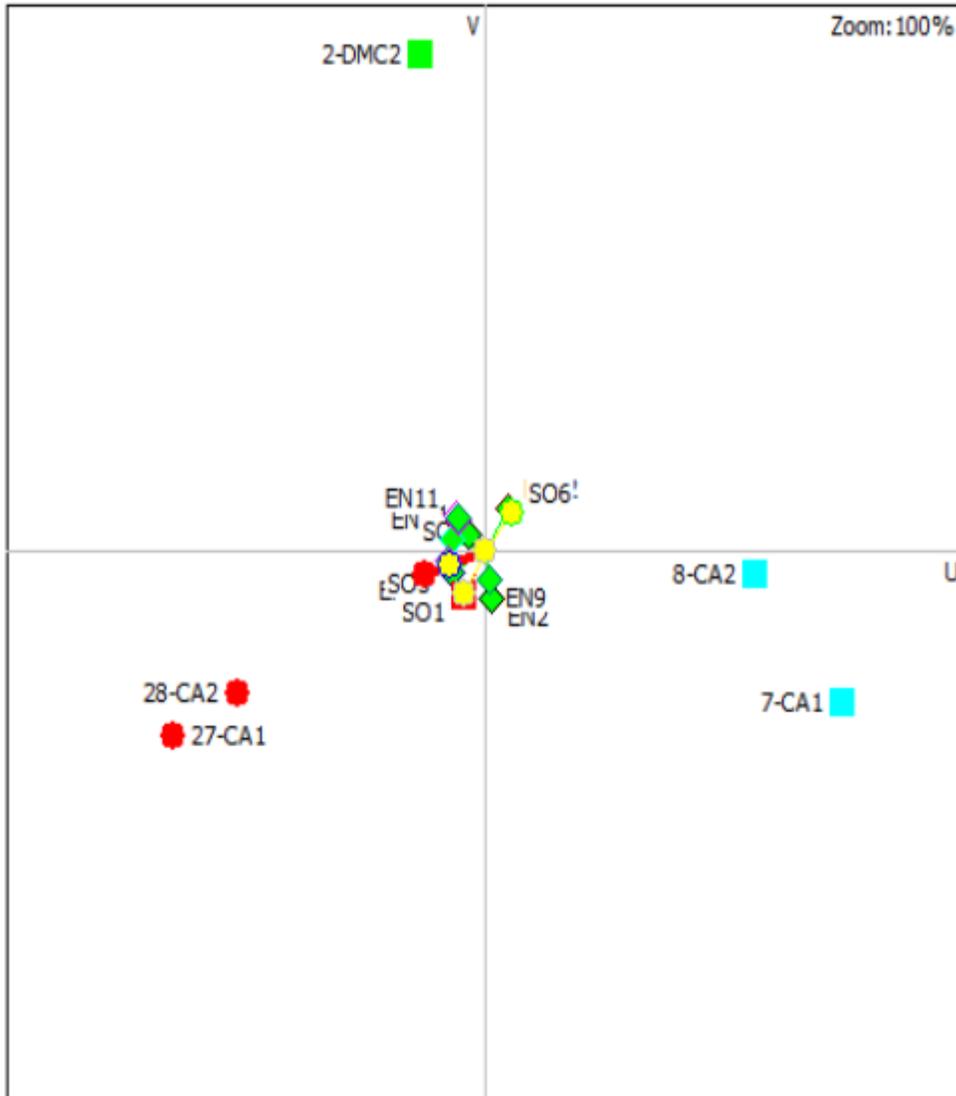
CA: Conservation agriculture, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system.

A visual inspection of overall performances of agricultural practices can be found in the GAIA (geometrical analysis for interactive aid) criteria plane (see figure 3.10). GAIA criteria plane is a geometrical representation of both sustainability indicators and agricultural practices which is obtained through the principal component analysis (Brans et De Smet, 2016). Axes U and V are the two main principal components that maximize the variance of data. These axes are obtained from the principal component analysis. Figure 3.10 shows that the agricultural practices 27-CA1 and 28-CA2 are quite similar but are

different from 7-CA1 and 8-CA2 which are also quite similar. 27-CA1 and 28-CA2 are therefore labeled as organic conservation agriculture while 7-CA1 and 8-CA2 are labeled as chemical conservation agriculture. The agricultural practice 2-DMC2 stands alone and is notably distinct from the others. Indicators axes are relatively short and equidistant, suggesting a lack of discriminating indicators. Despite the absence of discriminating indicator, it is important to note that many indicators express similar preferences and can be grouped into four categories, category 1 (farm income, contribution to GDP, farm community physical health, harvest product quality, quality of rural-urban cohabitation, jobs created, quantity of organic matter and agricultural ecotoxicity indicators), category 2 (net soil greenhouse gas emissions, soil erosion, soil water supply, soil biodiversity, animal biodiversity, physical soil quality, quantity of used nitrogen and quantity of used phosphorus indicators), category 3 (agricultural inputs' greenhouse gas emission and plant biodiversity indicators) and category 4 (ability to meet high food demand and energy consumption indicators).

The performance of agricultural practices across these categories varies. Organic conservation agriculture practices excel in category 1, perform less well in categories 2 and 3, and fare worse in category 4. In contrast, chemical conservation agriculture practices perform better in category 3, less well in categories 1 and 4, and worse in category 2. The agricultural practice 2-DMC2 stands out by performing better in categories 2 and 4 but worse in categories 1 and 3. This visual representation provides a comprehensive overview of how these practices compare across a spectrum of sustainability indicators.

Figure 3.10: GAIA criteria



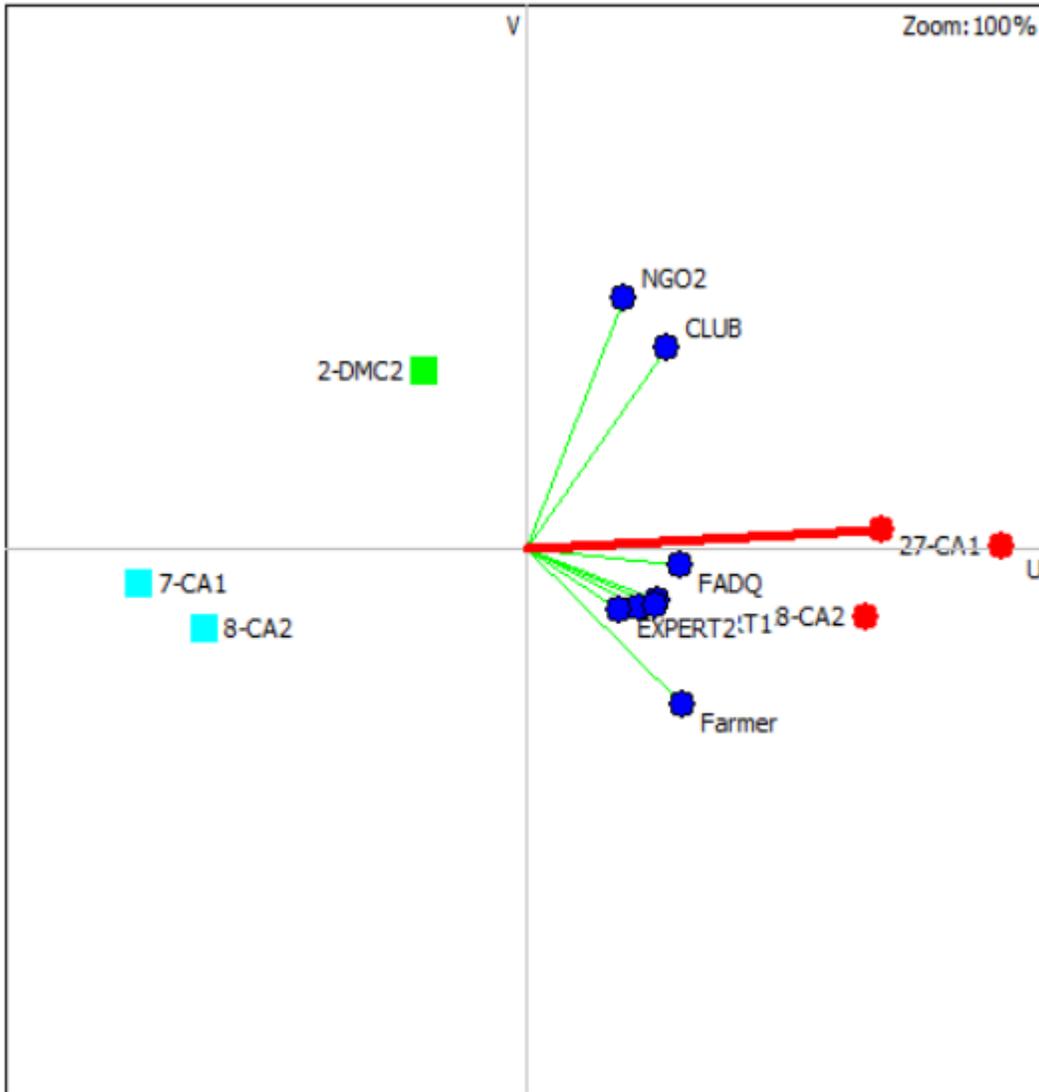
EN: Environmental indicator, EC: Economic indicator, SO: Social indicator, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, CA: Conservation agriculture.

Considering that preferences for agricultural practices may differ among stakeholders, we conducted a separate analysis for each stakeholder. The results, as presented in Table 3.8, reveal a striking consistency among all stakeholders in ranking 27-CA1, 28-CA2, and 2-DMC2 as the top three most sustainable agricultural practices. The only exception is the second environmental organization, which ranks 28-CA2 and 2-DMC2 as the second and third most sustainable agricultural practices, respectively.

This remarkable alignment of preferences across diverse stakeholders implies a certain consensus regarding the sustainability of these practices, even though the stakeholders assigned varying weights to

sustainability indicators. This consensus among stakeholders is visually evident in the GAIA stakeholders' plot (see Figure 3.11), where all stakeholders' axes are oriented to the right.

Figure 3.11: GAIA stakeholders



DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, CA: Conservation agriculture.

A sensitivity analysis was conducted to assess the extent to which changes in the weights of sustainability indicators affect the final ranking of agricultural practices. The results are presented in table 3.9. The second column represents the weights used for global evaluation. The third and fourth columns represent the weight stability interval for each criterion that is the range of values a sustainability indicator's weight can take without altering the ranking of the top three agricultural practices. The results demonstrate the stability of the ranking. In fact, the minimum weight increase required to alter the ranking of the top three

agricultural practices is 12.2 percentage points (from 15.28% to 3.08%), which pertains to the criterion of agricultural inputs' greenhouse gas emissions. This robust stability further reaffirms the supremacy of 27-CA1 over other agricultural practices.

Up to this point, the analysis has considered the most sustainable agricultural practice as the one providing the most employment opportunities. However, due to the current labor shortage in Quebec, an alternative evaluation was conducted, considering "jobs created" as a minimizing criterion, indicating that the most sustainable agricultural practice provides fewer employment opportunities. The results, presented in Annex G, continue to affirm that 27-CA1 is the most sustainable, followed by 28-CA2, 2-DMC2, 8-CA2, and 7-CA1. This ranking aligns with the one obtained in Figure 3.8 and solidifies the dominance of 27-CA1 and 28-CA2 over other agricultural practices.

We have also run the evaluation while considering that both 27-CA1 and 28-CA2 have the same performance with 8-CA2 and 7-CA1 on the following indicators farm income and contribution to GDP. This situation would likely happen if the prime paid for biological products is reduced because of increased production of biological products. The results presented in annex M also show that the most sustainable agricultural practice is 27-CA1 followed by 28-CA2, 2-DMC2, 8-CA2 and 7-CA1 respectively. This further confirms the supremacy of 27-CA1 and 28-CA2 over other agricultural practices despite a reduction of prime paid for biological products.

However, although the present study has selected 27-CA1, 8-CA2 and 2-DMC2 as the top three most sustainable agricultural practices, further research is needed to draw definitive conclusion since the present study is limited by the following factors.

Firstly, the point of view of all stakeholders was not included in the evaluation process as some stakeholders were not present during the focus group. This is not an isolated case since voluntary and involuntary absences of certain stakeholders have been acknowledged in the literature as one of the weaknesses of stakeholders' participation that often precede multicriteria analysis (Munda, 2005). Another limitation is that the point of view of participants that attended the focus group might not reflect the position of stakeholders that they represent.

Secondly, the performances of agricultural practices on sustainability indicators were essentially provided by experts. Experts' opinions might not necessarily reflect the actual performances of agricultural practices.

That is why the present study appeals for further research that will rely on concrete data of the performances of agricultural practices. Despite this limitation, it is important to note that the use of experts' opinions is particularly recommended for rapid evaluation in presence of lack of data. Experts' opinion has been empirically validated and is considered as a relevant alternative to data-rich methods, for evaluation of performances of agricultural systems (Pashaei Kamali *et al.*, 2017).

Thirdly, most sustainability indicators were measured in terms of land-based unit in the present study whereas it is increasingly recommended to use mass-based unit as it considers cropping intensity (Kirchmann *et al.*, 2016). Furthermore, previous studies have also demonstrated the ranking of agricultural practices often differs when the performances are measured either in land-based unit or in mass-based unit (Afshar et Dekamin, 2022; Król-Badziak *et al.*, 2021; Viana *et al.*, 2022). It would be interesting in future study to reassess the performances of agricultural practices using mass-based unit.

Table 3.8: Stakeholders' final ranking of agricultural practices (PROMETHEE 2)

Stakeholders	Final ranking				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Farmer	27-CA1(0.5879)	28-CA2 (0.4582)	2-DMC2(-0.3362)	8-CA2(-0.3544)	7-CA1(-0.3554)
NGO 1	27-CA1(0.4645)	28-CA2 (0.3726)	2-DMC2(-0.1604)	8-CA2 (-0.2782)	7-CA1 (-0.3985)
NGO 2	27-CA1(0.3797)	2-DMC2(0.2351)	28-CA2 (0.1064)	7-CA1 (-0.3461)	8-CA2 (-0.3750)
FADQ	27-CA1(0.5430)	28-CA2 (0.4153)	2-DMC2 (-0.1252)	8-CA2 (-0.3163)	7-CA1 (-0.5168)
CLUB	27-CA1(0.4979)	28-CA2 (0.2882)	2-DMC2 (0.1457)	7-CA1 (-0.4339)	8-CA2 (-0.4979)
MELCCFP	27-CA1(0.4061)	28-CA2 (0.3245)	2-DMC2 (-0.1605)	8-CA2 (-0.2434)	7-CA1 (-0.3266)
Expert 1	27-CA1(0.4637)	28-CA2 (0.3550)	2-DMC2 (-0.1673)	8-CA2 (-0.2655)	7-CA1 (-0.3860)
Expert 2	27-CA1(0.3337)	28-CA2 (0.2724)	2-DMC2 (-0.1487)	8-CA2 (-0.1986)	7-CA1 (-0.2588)

DMC: Direct seeding mulch-based cropping system, CA: Conservation agriculture.

Table 3.9: Sensitivity analysis

<i>Sustainability indicators</i>	<i>Weight used (%)</i>	<i>Weight stability interval (%)</i>	
		<i>Min</i>	<i>Max</i>
Net soil greenhouse gas emissions (EN1)	1.52%	0.00%	26.01%
Agricultural inputs' greenhouse gas emission (EN2)	3.08%	0.00%	15.28%
Soil erosion (EN3)	7.69%	0.00%	49.49%
Physical soil quality (EN4)	6.36%	0.00%	33.77%
Quantity of used nitrogen (EN5)	0.81%	0.00%	21.96%
Quantity of used phosphorus (EN6)	0.73%	0.00%	21.90%
Quantity of organic matter (EN7)	1.38%	0.00%	100%
Soil water supply (EN8)	6.32%	0.00%	39.63%
Plant biodiversity (EN9)	1.71%	0.00%	20.12%
Soil biodiversity (EN10)	1.97%	0.00%	36.82%
Animal biodiversity (EN11)	0.94%	0.00%	36.16%
Energy consumption (EN12)	3.23%	0.00%	21.73%
Agricultural ecotoxicity (EN13)	5.13%	0.00%	100%
Farm income* (EC1)	23.00%	0.00%	40.86%
Contribution to GDP* (EC2)	8.04%	0.00%	29.37%
Jobs created (SO1)	1.39%	0.00%	19.60%
Farm community mental health (SO2)*	3.62%	0.00%	100%
Farm community physical health (SO3)	4.05%	0.00%	100%
Harvest product quality (SO4)	6.59%	0.00%	100%
Quality of rural-urban cohabitation (SO5)	2.98%	0.00%	100%
Ability to meet high food demand (SO6)	9.48%	0.00%	28.78%

EN: Environmental indicator, EC: Economic indicator, SO: Social indicator, GDP: Gross Domestic Product.

3.4 Conclusion

Across the globe, there is a resounding call for a transition to sustainable agriculture. However, the identification of the most sustainable agricultural practice remains a divisive issue among scholars and the general population. The objective of this study was to contribute to this ongoing debate by analyzing the sustainability of agricultural practices and identifying the most sustainable agricultural practice using a multicriteria decision aid method.

The study has globally identified five key agricultural practices including 27-CA1, 28-CA2, 8-CA2, 7-CA1 and 2-DMC2 as the best agricultural practices. These practices all fall under the broad umbrella of conservation agriculture, which is characterized by three principles: minimal or no mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover/cover crop, and crop rotation (Kassam *et al.*, 2018). This exemplary performance of conservation agriculture can be justified, particularly on two fronts: economic and agronomic.

Economically, conservation agriculture enables a reduction in both working time and labor, alongside diminished fuel and input costs, while still maintaining production levels akin to intensive production systems (AFD, 2006; Kassam *et al.*, 2011). These reductions typically lead to an overall decrease in production costs, thereby resulting in augmented profit margins (Jat *et al.*, 2020; Vastola *et al.*, 2017).

Agronomically, it fosters an environment conducive to biological activity, an augmentation in organic matter volume, soil water conservation achieved through heightened water infiltration rates and diminished evaporation, enhanced soil structure, effective control of weeds and plant diseases, increased productivity, and mitigation of the impacts of climate change (AFD, 2006; Ranaivoson *et al.*, 2017).

Specifically, the results have shown that the agricultural practices with the best economic performance are 27-CA1 and 28-CA2 followed by 8-CA2, 7-CA1 and 2-DMC2. The results have also shown that the best agricultural practice on social criteria is 28-CA2 followed by 8-CA2, 2-DMC2, 27-CA1 and 7-CA1; and the best agricultural practice on environmental criteria is 27-CA1, followed respectively by 2-DMC2, 28-CA2, 7-CA1 and 8-CA2. The results have finally shown that the most sustainable agricultural is 27-CA1 followed by 28-CA2, 2-DMC2, 8-CA2 and 7-CA1 respectively.

Although this study has identified 27-CA1 as the most sustainable agricultural practice, further research may be necessary to arrive at a definitive conclusion. Future research should address the primary limitations of this study, including the full participation of all stakeholders during the evaluation process, the utilization of real performance data of agricultural practices instead of relying on expert opinions, and the use of mass-based units to measure sustainability indicators rather than land-based units.

Despite the call for further research, our study strongly recommends the promotion of agricultural practices based on the principles of conservation agriculture to achieve sustainability in the agricultural sector.

CHAPITRE 4
A COMPOSITE INDEX MEASURING ADOPTION OF CONSERVATION AGRICULTURE AMONG
MAIZE AND SOYBEAN FARMERS IN QUEBEC

Guy Martial Takam Fongang¹, Jean-François Guay¹, Charles Séguin^{1,2}

¹Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal. C.P. 8888, succursale
Centre-ville Montréal (Québec) H3C 3P8, Canada

²Département des sciences économiques, École des sciences de la gestion, Université du Québec à
Montréal, Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, (Québec) H3C 3P8, Canada

Abstract

Conservation agriculture (CA) has appeared in America since 1970 as an alternative practice to conventional tillage to limit soil degradation. Despite its expansion around the world, socioeconomic analyses of its adoption, as well as its impact on agricultural yields, it still suffers from imperfect identification of CA adopters. The present study therefore proposes a new composite index for measuring the adoption of CA among maize and soybean farmers in the province of Quebec, Canada. A model of partial adoption of CA both at plot and farm levels is developed to build the composite index; and experts' judgements and the Analytical Hierarchy Process are used for weight elicitation of principles of CA. Data from 144 maize and soybean farmers are also used to assess the level of adoption of CA in Quebec. The new composite index improves on the measure of adoption of conservation agriculture, as it can be used to discriminate among farmers according to the level of adoption of principles of CA. Indeed, the new composite index shows that 77.1%, 21.5% and 1.4% of maize and soybean farmers, respectively, are partial adopters, full adopters and non-adopters of CA, whereas the traditional binary indicator indicates that 83.3% and 16.7% of maize and soybean farmers, respectively, are adopters and non-adopters of CA. The results also show that many maize and soybean farmers (38.9%) have shown a certain flexibility in the adoption of CA.

Keywords: Sustainable agriculture, agricultural innovation, maize and soybean producers, conservation agriculture

4.1 Introduction

Conservation agriculture (CA) is a sustainable agricultural practice characterised by three principles: no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover or cover crop and crop rotation. This practice has emerged as an alternative agricultural practice to alleviate soil erosion caused by conventional tillage systems (Kassam *et al.*, 2018).

Over the years, CA has been the object of many studies around the world. Most of them focus on the performance of CA or on the factors of adoption of CA by farmers. Studies on the performance of CA analyse its effects on soil physical properties, profitability, energy requirements, crop yields, greenhouse gas emissions, farmer's income and food security (Khonje *et al.*, 2018; Mango *et al.*, 2017; Michler *et al.*, 2019; Pratibha *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2011; Tambo et Mockshell, 2018). Those focusing on the factors of adoption seek to identify the main determinants of adoption of CA (Fisher *et al.*, 2018; Kagoya *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2018; Tambo et Mockshell, 2018; Van Hulst et Posthumus, 2016; Wade et Claassen, 2017; Ward *et al.*, 2018).

Despite the relevance of the above contributions, most socioeconomic studies are clouded by the weak identification of CA adopters. Indeed, many studies offer a simplistic black-and-white view of the adoption, e.g., adoption/no-adoption by farmers (Mango *et al.*, 2017), whereas farmers often partially adopt CA precepts (Grabowski et Kerr, 2013; Mango *et al.*, 2017). Farmers generally adopt the principles of CA while remaining flexible to respond to any stimuli coming out the market outlet or biophysical conditions (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). For example, under intensive systems, crop rotation is often used as a strategic measure by farmers to raise the soil nitrogen level, control for plant disease cycles (biophysical conditions) or maximise crop income when the crop used for rotation faces rising prices (market outlet) (Kirkegaard *et al.*, 2014). Tillage is also used by farmers to control weed infestation that has become resistant to weed killer or to reduce soil compaction and to facilitate mineralisation (Conyers *et al.*, 2019; Kirkegaard *et al.*, 2014).

Another reason of partial adoption of CA is related to spatial dimensions. Farmers initially tend to adopt CA on limited portions of their land before making a definitive decision to adopt or reject the innovation (Pannell *et al.*, 2006).

The above arguments show the difficulties of discriminating among farmers who are adopters (or not) of CA, of assessing the extent of adoption and of evaluating motives for adoption; however, unfortunately, many adoption and impact evaluation studies of CA are based on a binary approach, which fails to fully take into account the partial adoption of CA (Mango *et al.*, 2017; Michler *et al.*, 2019). Full adoption is observed when farmers keep applying the three principles of conservation agriculture (PCA) on the whole farm over three successive years while non adoption is observed when farmers do not apply any PCA on any piece of land over three successive years. Partial adoption of conservation agriculture, then, describes any farmer with a situation between full adoption and non-adoption.

Our contribution is based on the assumption that farmers often apply a PCA while remaining flexible to respond to market opportunities or to modifications of their biophysical environment (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). We propose that a meaningful approach to measure the adoption of CA should integrate the complexity of CA and be able to discriminate among farmers, non-adopters, partial adopters and full adopters of CA. That approach should also be based on a three-year timescale, as an ideal CA practice implies a rotation of a minimum of three different crops (Kassam *et al.*, 2018). Pursuing that objective, we propose a new measure of adoption of CA which fulfills the above-mentioned conditions (integrating all the complexity of CA, discriminating farmers according to the level of adoption of farmers, and using a three-year timescale). Such a measure is helpful for both land conservation programme managers and scholars. Land conservation programme managers can use the new measure of adoption of CA to tailor grants for CA adoption to the corresponding level of adoption of CA of farmers. For scholars, the new measure of the adoption of CA constitutes a flourishing avenue for reassessing the adoption and impact of CA and then contributing to the current debate of the performance of CA.

In summary, the present study contributes to the existing literature on adoption of CA by proposing a new and simple approach (composite index of CA at farm level) to measure the adoption of CA among farmers. This new approach permits us to show that most maize and soybean farmers are partial adopters of CA (77.08%) in Quebec and that about 38.89 % are flexible, that is, they adopt the principles of CA while remaining flexible to respond to any stimuli coming out of the market outlet or biophysical conditions (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012).

4.2 Materials and methods

4.2.1 Data source

Data used in this study are primary data coming from two sources: an online survey of maize and soybean producers and a focus group of experts. The survey was carried out in winter 2021 from February to April through a unique questionnaire developed by the first author and tested by a pilot survey carried out in February 2021. Since the response rate of mailing surveys usually tends to be low (Dupras *et al.*, 2018), the invitation was sent to all of Quebec’s grain producers. Roughly 298 maize and soybean producers participated in the survey, but only 144 maize and soybean producers were retained for the analysis, as other participants failed to properly complete the questionnaire. The questionnaire covers a wide range of information, including farmers’ characteristics, farm’s characteristics, contingent valuation questions and risk elicitation lotteries, but only the summary descriptive statistic of variables used for this study is presented in Table 4.1. The questionnaire section used for building the composite index is available upon request.

Table 4.1: Descriptive statistics of key variables

Variables	Observation	Mean	Std Dev	Min	Max
Proportion of maize and soybean farm under no or minimum mechanical soil disturbance in 2020	144	72.44	36.34	0	100
Proportion of maize and soybean farm under no or minimum mechanical soil disturbance in 2019	144	72.04	36.19	0	100
Proportion of maize and soybean farm under no or minimum mechanical soil disturbance in 2018	144	68.85	37.50	0	100
Proportion of maize and soybean farm under permanent mulch soil cover in 2020	144	68.49	39.18	0	100
Proportion of maize and soybean farm under permanent mulch soil cover in 2019	144	69.15	37.08	0	100
Proportion of maize and soybean farm under permanent mulch soil cover in 2018	144	64.76	38.66	0	100
Proportion of maize and soybean farm under crop rotation in 2020	144	82.38	28.90	0	100
Proportion of maize and soybean farm under crop rotation in 2019	144	82.46	28.30	0	100
Proportion of maize and soybean farm under crop rotation in 2018	144	80.54	30.60	0	100

Online questionnaires were preferred over the in-person interviews for three main reasons. First, the online survey strongly reduces any interviewer bias. Second, concomitantly, it favours the expression of

the participant on sensitive questions (Dupras *et al.*, 2018). Third, the online survey is also suitable as it respects social distancing advocated during the COVID-19 pandemic.

A focus group was also organised in May 2021 with eight experts for weighting the PCAs. During the focus group, the PCAs were presented to the participants, and they were asked to weight them during a post-focus-group survey organised in May 2021. Although all eight experts attended the focus group, only five experts effectively participated in the weighting process that occurred during the post-focus-group survey. These experts were recruited based on their academic experience in relation to agricultural sustainability. The experts invited for the focus group come mainly from universities and research centres.

4.2.2 Modeling of partial adoption

To consider the complexity of CA and the flexibility in its adoption, we use a composite index to measure the adoption of CA. The composite index is first calculated at plot level and then aggregated at farm level and averaged over three years. The computation of the composite index is sequential as follows.

Let us assume that the farm of a given maize and soybean producer X is made up of N distinct plots ($n = 1, \dots, N$) whose sizes (in hectares) are respectively S_1, S_2, \dots, S_N for plots 1, 2, ... N . The proportion of plot n over the overall farm is:

$$P_n = \frac{S_n}{\sum_{n=1}^N S_n} \quad (4.1)$$

Given that CA is characterized by three principles (Kassam *et al.*, 2018), the composite index of CA at the plot level can be computed by the formula below:

$$PCIACAI_{nt} = \left(\sum_{j=1}^3 w_j Y_j \right)_{nt} \quad (4.2)$$

where $PCIACAI_{nt}$ is the composite index of CA of plot n at year t , Y_j are three dichotomous variables standing for the three principles of CA and w_j are their corresponding weights hypothesized to depend upon their contributions to agricultural sustainability. Y_j takes the value 1 if the farmer has applied the principles of CA on the plot and 0 otherwise. Table 4.2 below provides the description of the three principles of CA.

Table 4.2: Principles of conservation agriculture

Y_j	Definitions	Principles of CA
Y_1	1 if the farmer has used direct seeding or minimum tillage on the plot and 0 otherwise.	1—No or minimum mechanical soil disturbance.
Y_2	1 if the farmer has left crop residues or has planted cover crops on the plot and 0 otherwise.	2—Permanent mulch soil cover/cover crop.
Y_3	1 if the farmer has applied crop rotation on the plot and 0 otherwise	3—Crop rotation.

The weights of the PCAs were determined by a panel of five experts. The weighting was performed through the Analytic Hierarchy Process (AHP). Although the AHP was initially developed as helping tool for complex decision-making (Saaty, 1990, 1994), it has also been used for weight elicitation of criteria (Fallah-Alipour *et al.*, 2018; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010). The AHP will be presented in the subsequent section. The weights of the PCAs are then obtained by aggregating the scores of each principle which themselves have been obtained by pairwise comparisons of the PCA. Given that five experts were involved in the weighting process, the geometric mean of the experts' weights were used in this study.

The composite index of CA at farm level was obtained by aggregating the composite index of CA at plot level ($PCIACA_{nt}$) through the formula below:

$$CIACA_t = \sum_{n=1}^N P_n \cdot PCIACA_{nt} = \sum_{n=1}^N P_n \left(\sum_{j=1}^3 w_j Y_j \right)_{nt} \quad (4.3)$$

where $CIACA_t$ is the composite index of CA at farm level for year t and P_n is, as previously stated, the proportion of the plot over the whole farm. The equation can be rewritten as follows:

$$CIACA_t = \sum_{n=1}^N P_n (w_1 Y_1 + w_2 Y_2 + w_3 Y_3)_{nt} \quad (4.4)$$

where w_1 , w_2 and w_3 are respectively the weights of first, second and third PCA (Y_1 , Y_2 and Y_3). By assuming that principles 1, 2 and 3 were applied on L_t , C_t and R_t plots, respectively (L_t , C_t and R_t stand for the number of plots where principle 1, 2 and 3 are applied, respectively), in year t and given that Y_i takes the value 1 if the principle was applied on the plot and 0 otherwise, it can be easily shown that:

$$CIACA_t = w_1 \sum_{n=1}^{L_t} P_n + w_2 \sum_{n=1}^{C_t} P_n + w_3 \sum_{n=1}^{R_t} P_n \quad (4.5)$$

The above equation is valid as the values of w_i are assumed to be constant over years and across plots. Equation (4.5) can be rewritten as follows:

$$CIACA_t = w_1 PL_t + w_2 PC_t + w_3 PR_t \quad (4.6)$$

where $PL_t = \sum_{n=1}^{L_t} P_n$, $PC_t = \sum_{n=1}^{C_t} P_n$ and $PR_t = \sum_{n=1}^{R_t} P_n$ are, respectively, the proportions of farms under the principles 1, 2 and 3 in year t. Given that an ideal CA system should imply a rotation of a minimum of three different crops (Kassam *et al.*, 2018), the $CIACA_t$ was calculated for the last three years, and their average (CIACA) was used as the final measure of adoption of CA.

$$CIACA = \frac{\sum_{t=1}^3 (w_1 PL_t + w_2 PC_t + w_3 PR_t)}{3} \quad (4.7)$$

4.2.3 Weighting of Principles of conservation agriculture: Analytical Hierarchy Process

If three farmers adopt only one but distinct PCA (for instance principles 1, 2 and 3 by, respectively, the first, the second and the third farmer), are they equivalent in terms of adoption of CA? That would only be the case if each principle contributed to the same extent to agricultural sustainability, which is obviously not the case in reality. Agricultural sustainability here stands for “practices that meet present and future societal needs for food and fibre, for ecosystem services and for healthy lives, and that do so by maximizing the net benefit to society when all costs and benefits of the practices are considered” (Tilman *et al.*, 2002). PCAs perform different functions, including minimization of soil loss in runoff or wind, reduction of labour and fuel energy inputs, reduction of pests and diseases, etc. (Kassam *et al.*, 2011), and by doing so, they contribute differently to the agricultural sustainability of CA. This situation exemplifies the necessity of weight elicitation of the PCAs in accordance with their actual contributions to agricultural sustainability as a condition for classifying farmers in relation to their degree of adoption of CA. This task was performed by five agricultural sustainability experts invited to carry out the weighting process of the PCAs. Experts’ opinion has been extensively used in the literature for weight elicitation (Fallah-Alipour *et al.*, 2018; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010; Singh *et al.*, 2018). Although the use of experts’ opinion for weight elicitation of the PCAs is subjective, it remains appropriate for rapid evaluation when there is lack of data. Moreover, the validity of experts’ opinion as a potential alternative to data-rich methods has been demonstrated in previous studies (Pashaei Kamali *et al.*, 2017).

During the focus group, experts performed pairwise comparison judgments of each PCA based on their knowledge. These pairwise comparison judgements were completed by asking the following three questions: “Which pillar between crop rotation and permanent mulch soil cover/cover crop is more important for you to ensure the sustainability of CA? Which pillar between minimum mechanical soil disturbance and crop rotation is more important for you to ensure the sustainability of CA? Which pillar between minimum mechanical soil disturbance and permanent mulch soil cover/cover crop is more important for you to ensure the sustainability of CA?” The Saaty’s scale as presented in Table 4.3 was used for comparison (Saaty, 1990). The value 1 means that two principles are equally important, while the values 3, 5, 7 and 9 mean that one principle is moderately, strongly, very strongly and extremely important over another principle, respectively. The value 2, 4, 6 and 8 are intermediate values. The pairwise comparisons were used to build the pairwise comparison matrix A:

$$A = (a_{ij}), \text{ with } a_{ij} = p \text{ and } a_{ji} = \frac{1}{p} \quad (4.8)$$

where p is the relative importance of one principle (i) over another (j), which can take any integer from 1 to 9. As judgement process often suffers from inconsistency (Saaty, 1994); the consistency ratio (CR) (see equation 4.9) was calculated and the 10% bound was used for maximum tolerable inconsistency as recommended by Saaty (1990). Inconsistency in the judgement process occurs when redundant comparisons of some elements lead to multiple comparisons of an element with other elements (Saaty, 1994).

Table 4.3: Saaty's scale

Principles	Extreme Importance	Very Strong Importance	Strong Importance	Moderate Importance	Equal Importance	Moderate Importance	Strong Importance	Very Strong Importance	Extreme Importance	Principles								
No or minimum mechanical soil disturbance	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Permanent mulch soil cover/cover crop
No or minimum mechanical soil disturbance	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Crop rotation
Permanent mulch soil cover/cover crop	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Crop rotation

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.9)$$

where $CI = \frac{\lambda_{max} - \Omega}{\Omega - 1}$ and RI are, respectively, the consistency index and the random index, which is the consistency index obtained from a randomly generated reciprocal matrix of the same order. λ_{max} and Ω are, respectively, the principal eigenvalue of matrix A and the number of criteria (or PCAs). The weights of the PCAs are given by the principal eigenvector of matrix A also obtained by solving the following system equations:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (4.10)$$

where w is the principal eigenvector or the vector of weights of the PCA. The overall calculation (principal eigenvector, principal eigenvalue and consistency ratio) was performed with the use of the software Expert Choice. Since several experts were involved in the judgement process, the geometric mean of experts' weighting was used in this study. Geometric mean weighting has been used by previous studies (Gomez-Limon et Riesgo, 2009) and has been shown to be more consistent than arithmetic mean, as it is suitable for aggregating both judgements and priorities in AHP (Forman et Peniwati, 1998).

4.3 Results

4.3.1 Weighting Process: The AHP results

Results of AHP analysis are presented in Table 4.4. The second, third and fourth columns present the weights of the PCAs, whereas the last column presents the inconsistency ratios. The normalized geometric mean weights of the overall experts are presented in the tenth row and are, respectively, 57.68%, 22.95% and 19.37% for no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover and crop rotation. Given that the judgements of two experts (experts 2 and 3) were inconsistent as their inconsistency ratios are greater than 10% (0.13 and 0.17), equal weights were assumed for them (33.33, 33.33 and 33.33, respectively, for no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover and crop rotation) and the new normalized geometric mean weights of experts were calculated using equivalent weights for no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover and crop rotation for both experts 2 and 3 (see last row of Table 4.4). According to this latter weight computation, the weights of no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover and crop rotation are, respectively, 48.03%, 23.93% and 28.04%. Indeed, the results show that the no or minimum mechanical

soil disturbance principle contributes more than 48.03% to the sustainability of CA, while permanent mulch soil cover and crop rotation contributions are, respectively, 23.93% and 28.04%. The dominance of no or minimum mechanical soil disturbance could be explained by the different functions performed by no or minimum mechanical soil disturbance. These functions include the reduction of evaporative loss from upper soil layers, minimization of oxidation of soil organic matter, minimization of carbon dioxide loss, reduction of labour requirement and energy use, maximization of rain infiltration, minimization of soil loss, etc., and are summarized in Kassam *et al.* (2011). Despite the dominance of no or minimum mechanical soil disturbance, it is also important to note that permanent mulch soil cover and crop rotation perform important functions contributing to the sustainability of CA. For example, past studies have shown that mulch increases soil moisture, reduces the presence of weeds, increases soil nutrient and yield (Murungu *et al.*, 2011), reduces total soil water evaporation and soil water runoff, reduces soil erosion (Ranaivoson *et al.*, 2017), increases soil water infiltration and increases soil organic carbon and soil fauna abundance, especially arthropod, nematode and earthworm populations (Ranaivoson *et al.*, 2017). Several other studies have also shown the positive effect of crop rotation on soil quality (Karlen *et al.*, 2006), on soil microbial biodiversity (Venter *et al.*, 2016) and on crop yield (Zhao *et al.*, 2020). Crop rotation can be used strategically in intensive systems to control for insect and pathogen infestation, to improve soil nutrient (Vanlauwe *et al.*, 2014) and to maximise profit when the prices of rotational crops are increasing (Kirkegaard *et al.*, 2014).

Table 4.4: Weights of principles of conservation agriculture

Expert	Weight			Inconsistency Ratio
	No or Minimum Mechanical Soil Disturbance	Permanent Mulch Soil Cover	Crop Rotation	
Expert 1	71.72	8.81	19.47	0.09
Expert 2	76.62	7.59	15.79	0.13
Expert 3	21.85	71.47	6.68	0.17
Expert 4	33.33	33.33	33.33	0.00
Expert 5	66.67	16.67	16.67	0.00
G-mean*	48.44	19.27	16.27	
G-mean **	44.63	22.24	26.06	
Normalised weight*	57.68	22.95	19.37	
Normalised weight **	48.03	23.93	28.04	

* Weights with inconsistency. ** Weights corrected from inconsistency.

4.3.2 Computing composite index of adoption of CA

Following equations (4.5) and (4.6), we computed the composite index of adoption of CA for 144 maize and soybean farmers from Quebec. The results are presented in Table 4.5.

Table 4.5: Descriptive statistics of CIACA

Variable	Observation	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
CIACA ₂₀₂₀	144	0.74a	0.28	0	1
CIACA ₂₀₁₉	144	0.74a	0.27	0	1
CIACA ₂₀₁₈	144	0.71	0.29	0	1
CIACA	144	0.73	0.27	0	1

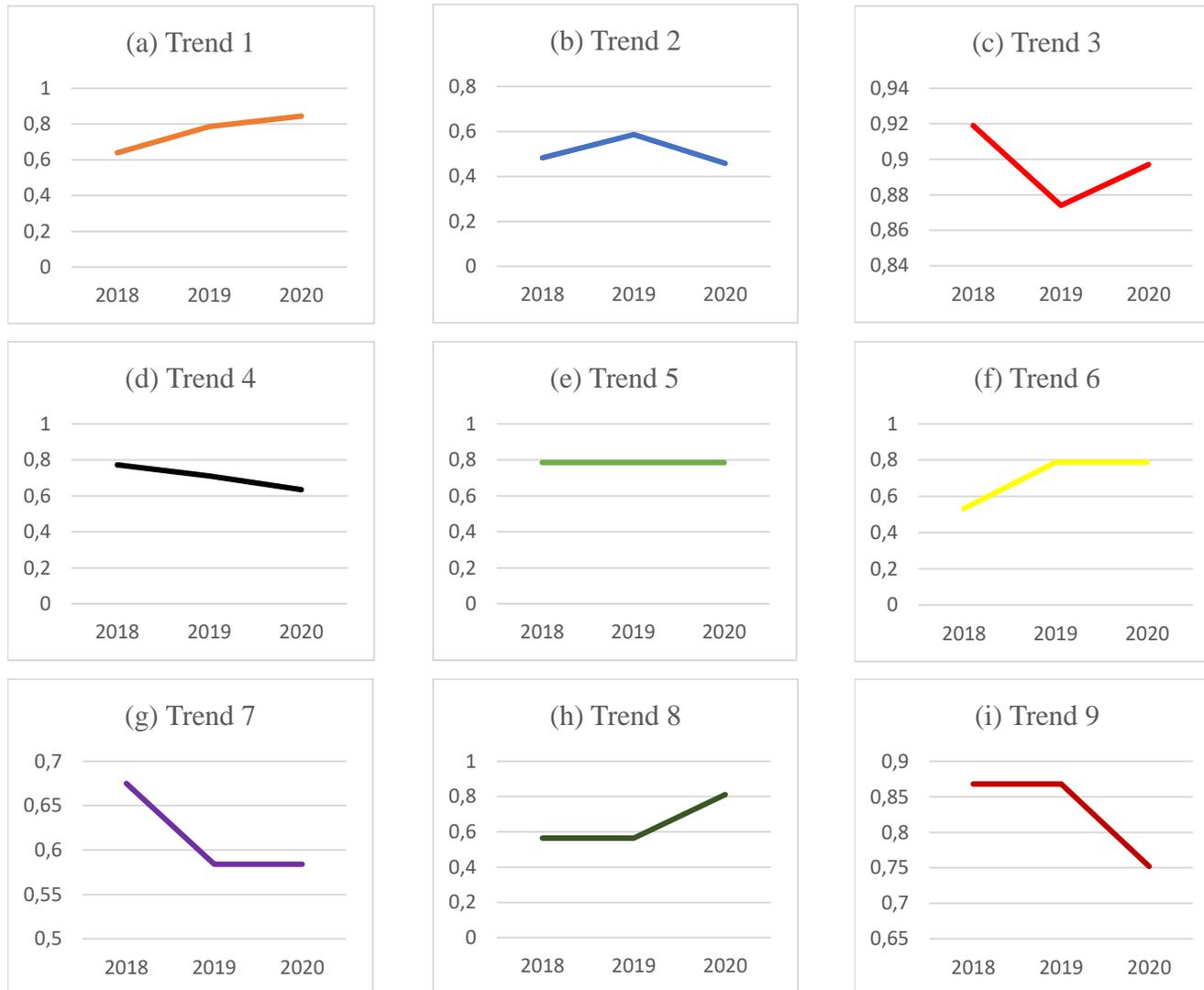
a = Means that the means are statistically equivalent ($p > 0.1$).

CIACA₂₀₁₈, CIACA₂₀₁₉ and CIACA₂₀₂₀ stand, respectively, for the level of adoption of CA in 2018, 2019 and 2020, and CIACA is the average over the three years.

4.4 Discussions

Our results show that on average, maize and soybean farmers apply about 73% of the PCAs. The results further show a modestly increasing adoption of CA from 71% to 74% between 2018 and 2019, but a constant adoption of CA between 2019 and 2020. This was further confirmed by the mean comparison tests, which show a significant difference of CA adoption between 2018 and 2019 and an insignificant difference of CA adoption between 2019 and 2020. Although the results show a global increase of adoption of CA estimated at 4.2%, farmers globally follow nine trends, represented in figure 4.1.

Figure 4.1: Trends in adoption of CA



The distribution of farmers according to the types of trends is presented in Table 4.6.

Table 4.6: Distribution of farmers according to trends

Type	Relative Frequencies	Definitions
Trend 1	8.33	Increasing trend
Trend 2	10.42	Broken line trend
Trend 3	4.17	Broken line trend
Trend 4	6.25	Decreasing trend
Trend 5	46.53	Constant trend
Trend 6	6.94	Semi-increasing trend
Trend 7	4.17	Semi-decreasing trend
Trend 8	7.64	Semi-increasing trend
Trend 9	5.56	Semi-decreasing trend
Total	100	

While 46.53% of farmers have a constant trend, the remaining farmers have either an increasing trend, decreasing trend, semi-increasing trend, semi-decreasing trend or broken line trend. We interpret these trends (except trend 5) as proof of flexibility of farmers in the adoption of PCAs, which was also reported in the previous literature (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). Although most farmers (farmers following trends 2, 3, 6, 7, 8 and 9) could be considered as flexible farmers, farmers following trends 2 or 3 are perfect examples of flexibility in adoption of PCAs as their adoption of PCAs starts increasing (decreasing) and then decreases (increases). Flexibility of farmers can be explained by two likely arguments: the economic and biophysical arguments (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012).

Under the economic argument, farmers will adopt or abandon certain principles of CA in response to market conditions. For example, under intensive systems, crop rotation is often used as a strategic measure by farmers to maximise crop income when a crop used for rotation faces a rising price (Kirkegaard *et al.*, 2014).

Under the biophysical argument, farmers will adopt or abandon certain principles of CA in response to the biophysical condition of the farm. Indeed, in a no-till system, farmers can use tillage for controlling a weed infestation that has become resistant to weed killer or to reduce soil compaction and facilitate the mineralisation (Conyers *et al.*, 2019; Kirkegaard *et al.*, 2014). Kirkegaard *et al.* (2014) have also reported the use of crop rotation by farmers as a strategic measure for raising soil nitrogen levels and for controlling for plant disease cycles.

Moreover, trend 1 could be interpreted as a sign of a long-term transition of farmers from conventional tillage to CA, while trend 4 could be interpreted as a sign of abandonment of CA in favor of conventional tillage. However, these two latter interpretations should be taken cautiously, as the time frame was relatively short to draw a definitive conclusion. It is also important to note that out of the 67 farmers having constant trend (trend 5), about half (50.74%) are partial adopters of CA, 46.27% are full adopters of CA and 2.99% are non-adopters of CA. Full adopters of CA are farmers that have applied all the PCAs in all their plots (here maize and soybean plots) over the three years ($CIACA = 1$), and non-adopters of CA are farmers that did not apply any PCA in their plots over the three years ($CIACA = 0$). The partial adopters of CA are any farmers between the two previous situations ($CIACA$ can take any value between 0 and 1, with 0 and 1 excluded).

Farmers were also grouped into the three above defined categories as shown in Table 4.7. Table 4.7 shows that most farmers are partial adopters of CA (77.08%), and only 21.53% are full adopters of CA. To compare our composite index of adoption of CA with the traditional binary indicator of adoption of CA, we have also asked farmers if they practiced CA. We noticed that 83.33% declared they practice CA against 16.67% that did not practice CA. This latter classification hides the reality where partial adoption of CA is dominant (77.08%). Most socioeconomic studies focusing on the analysis of adoption and performance of CA use a binary indicator of adoption of CA (Mango *et al.*, 2017), whereas farmers are often partial adopters of CA (Grabowski et Kerr, 2013; Mango *et al.*, 2017). The present study has shown that more than 75% of farmers are partial adopters of CA, and then invalidates the use of binary indicators for measuring the adoption of CA. An example of partial adoption was also shown by (Wade et Claassen, 2017) in the United States (USA), where the authors showed that only 17% and 25% of corn and soybean farmers, respectively, reported to continuously apply no-till in four successive years against 30% that alternated between no-till and tillage for both corn and soybean farmers. Although partial adoption of CA can be explained not only by environmental conditions and the farmers' judgement based on their practical experiences, but also by their ability to practice CA (Higgins et al. 2018); the literature broadly identifies factors such as farmers' perceptions, education, agricultural training, group membership, household size, farm size, etc., as key factors of agricultural innovation adoption in general (Fisher *et al.*, 2018; Takam-Fongang *et al.*, 2019; Tambo et Mockshell, 2018; Vecchio *et al.*, 2022).

Table 4.7: Distribution of farmers according to the category of adopters

Category	Number of Farmers	Relative Frequencies
Full adopters of CA	31	21.53
Non-adopters of CA	2	1.39
Partial adopters of CA	111	77.08
Total	144	100

Given that our composite index of adoption of CA is subjective as the weights of the PCAs were obtained from experts' judgement, we also computed the composite index of adoption of CA using similar weights (33.33%) for all PCAs. This latter index that we labeled uniform composite index of adoption of CA (UCIACA) was calculated for 2018, 2019 and 2020; the average was used as the final composite index of adoption of CA. Despite the difference of weights of PCAs between UCIACA and CIACA, the results presented in annex H show an increasing adoption of CA between 2018 and 2019 and a constant adoption of CA between 2019 and 2020 just as with CIACA. UCIACA also identified 77.08%, 21.53% and 1.39% of maize and soybean farmers just as with CIACA as partial adopters, full adopters and non-adopters of CA, respectively. The CIACA and UCIACA were also highly correlated, and the coefficient of correlation $r = 0.99$ was statistically significant at 1%. Despite the high correlation between UCIACA and CIACA, the ranking of farmers obtained by the two composite indexes was slightly different, as presented in annex I. Even if the two composite indexes give to the first 34 farmers the same position, all the remaining farmers except farmers A41 and A57, have received different ranks with the two composite indexes. This difference mainly results from the difference in the weights of the PCA used by the two approaches. While CIACA uses weights of 48.03%, 23.93% and 28.04% for no or minimum mechanical soil disturbance, permanent mulch soil cover and crop rotation, respectively, UCIACA uses similar weights for all PCAs. The fundamental question here is this: which weighting best represents the contribution of PCAs to the sustainability of CA? Using similar weights would mean that the three PCAs contribute equally to the sustainability of CA. We think that PCAs contribute unequally to the sustainability of CA, as they perform different functions in the cropping system. We rather rely on experts' judgement for weighting PCAs as empirical evaluations of the contribution of PCA to sustainability are lacking in the literature. Nevertheless, whatever weighting is used, the present study has shown the inappropriateness of a traditional binary indicator for measuring the adoption of CA.

4.5 Conclusion

The objective of the study was to propose a new composite index for measuring the adoption of CA. A model of partial adoption of CA both at plot and farm levels was then developed to build the new composite index. Experts' judgements and the Analytical Hierarchy Process were also used for weight elicitation of principles of CA. The results showed that the most important principle of CA is the no or minimum mechanical soil disturbance principle, followed by crop rotation and permanent mulch soil cover with, respectively, weights of 48.03%, 28.04% and 23.93%. Using data from 144 Quebec maize and soybean farmers, the new composite index showed that 77.08%, 21.53% and 1.39% of maize and soybean farmers were respectively partial adopters of CA, full adopters of CA and non-adopters of CA whereas the traditional binary indicator wrongly indicated that 83.33% and 16.67% of maize and soybean farmers were, respectively, adopters of CA and non-adopters of CA.

Although the new composite index constitutes a net improvement on the measure of adoption of CA as compared to traditional binary indicator, the use of experts' judgement for weight elicitation of principles of CA is an important limit of the study that needs to be acknowledged. Even though experts' judgement is particularly recommended for quick evaluation in the presence of lack of data, it is important for future studies to derive the weights of principles of CA from actual data instead from experts' judgement.

Despite the above limit, the new composite index presented under this study could be a useful tool in the hands of land conservation programme managers that would like to promote the adoption of CA by subsidising farmers in function of their levels of adoption of PCA.

CHAPITRE 5

WHAT DETERMINES THE ADOPTION OF CONSERVATION AGRICULTURE? HOT EVIDENCE FROM QUEBEC

Guy Martial Takam Fongang¹, Isambert Leunga Noukwe³, Jean-François Guay¹, Charles Séguin^{1,2}

¹Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal. C.P. 8888, succursale Centre-ville Montréal (Québec) H3C 3P8, Canada

²Département des sciences économiques, École des sciences de la gestion, Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal (Québec) H3C 3P8, Canada

³Département d'économie, École de gestion, Université de Sherbrooke, 2500 Boulevard de l'université, Sherbrooke (Québec) J1K 2R1, Canada

Abstract

Conservation agriculture (CA) is promoted by various organisations and scholars as alternative to conventional agriculture to meet growing food demand with minimal damage on environment; but its factors of adoption have not been well identified. The study uses the recent composite index of adoption of CA developed by Takam Fongang *et al.* (2023) to analyse the factors of adoption of conservation agriculture among maize and soybean farmers in Quebec. Using data from 93 maize and soybean producers and a Fractional logit model, the study shows that adoption of CA increases with farmer's favourable perceptions of yield and ease of implementing CA, off-farm employment and education. The study therefore appeals for more technical assistance to farmers.

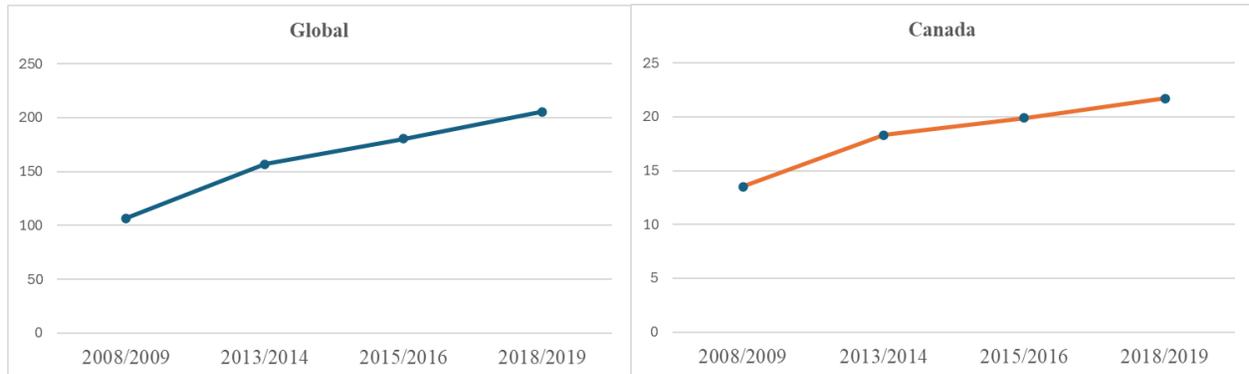
Keywords: Sustainable agriculture, adoption, risk preference, maize and soybean producers, Canada

5.1 Introduction

Over the past decades, conservation agriculture (CA) has been promoted by various organisations like Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) and scholars as an alternative to conventional agriculture to meet growing food demand with minimal damage on environment (Hobbs *et al.*, 2008; Lal, 2018). CA is sustainable agricultural practice characterized by three pillars including the absence or minimum mechanical soil disturbance, the permanent soil cover by mulch and/or cover crop, and crop rotation involving ideally at least three crops (Kassam *et al.*, 2018). Although initially developed for fighting soil erosion (Kassam *et al.*, 2018), CA has been shown to provide different benefits to farmers and society including among others, the reduction of labour demand, production cost, greenhouse gas emission, the increase of water infiltration, organic matter, etc. (AFD, 2006; Kassam *et al.*, 2011; Knowler *et Bradshaw*, 2007). For example, several studies have reported the positive effect of CA on soil quality and crop yield (Khonje *et al.*, 2018; Manda *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2011; Thierfelder *et al.*, 2013), on mitigating the production risks (Kassie *et al.*, 2015), and on household income (Tambo *et Mockshell*, 2018). Good performances of CA are normally obtained through better water infiltration, better soil moisture and better soil organic matter (Sharma *et al.*, 2011; Thierfelder *et al.*, 2013), and through reduction of soil erosion, labour requirement, production cost and chemical fertilizer, etc. (Kassam *et al.*, 2018). Even though some studies have also reported a negative effect of CA on crop yield especially under humid climate (Pittelkow *et al.*, 2015), the statistics show an increasing adoption of CA over years (Figure 5.1). For example, between, 2008/2009 and 2018/2019, CA cropland area has increased from 106.5 to 205.4 million hectares at the global level, and from 13.5 to 21.7 million hectares in Canada during the same period. Although the expansion of adoption has been largely farmer-driven, several factors such as the development of new seeding equipments, the introduction of broad-spectrum herbicide glyphosate, the development of new crop varieties, increased public awareness and lower interest rate on machinery investment have served as catalyst for expansion of CA in Canada (Awada *et al.*, 2014). For example, Awada *et al.* (2014) have shown in Canadian prairies although high prices of new seeding equipments and glyphosate had initially act as lagging factor of CA, the reduction of price of glyphosate relative to the price of fuel and the reduction of the cost of capital have fostered the adoption of CA in late decades. Nowadays, several countries are now providing policy and institutional support to the adoption of CA (Kassam *et al.*, 2022). A good example is the Ministerial initiative for rewarding agro-environmental practices, recently proposed by Quebec's government which provides monetary incentive to farmers that adopt agro-environmental practices. Despite the increasing adoption of CA over years, the proportion of cropland

under CA remains low and was estimated to 14.7% of the global cropland area in 2018/2019 (Kassam *et al.*, 2022).

Figure 5.1: CA cropland area (in million hectares) at the global and Canada levels.



Source: Adapted from (Kassam *et al.*, 2022)

In Quebec for example, even if the cropland area under CA has been increasing, about 8,781 farms (50.8% of total farm) and 468,889 hectares (36% of farmland) were still under conventional tillage in 2021 (Statistics Canada, 2022a). More recently, a survey of maize and soybean farmers has also shown that only 21.5 % of farmers were full adopters of CA in Quebec (Takam Fongang *et al.*, 2023). We therefore ask ourselves the following question: Why do some farmers adopt CA and others do not? Understanding the factors of CA adoption is fundamental for sustainable agricultural development given the various benefits of CA, at least in terms of mitigating soil erosion.

Several studies have attempted to explain farmers' decision to adopt CA in the literature, but the results remain controversial and vary from a study to another. Previous studies have classified factors of CA adoption into four main categories including farmer and farm household characteristics, exogenous factors, farm biophysical characteristics, and farm management/financial characteristics (Kagoya *et al.*, 2018; Knowler et Bradshaw, 2007).

❖ Farm biophysical characteristics, farmer and farm household characteristics

Several studies have identified farmer and farm household characteristics such as age, education, risk bearing, gender, namely, as well as farm biophysical characteristics such as soil erodibility, drainage, temperature and rainfall variability as factors of CA adoption (Ghazalian *et al.*, 2009; Khonje *et al.*, 2018; Tambo et Mockshell, 2018; Wade et Claassen, 2017; Ward *et al.*, 2018). Specifically, Ward *et al.* (2018),

using a Probit model, showed in southern Malawi that CA adoption increased with farm size and the level of education of farmers. When studying the factors of adoption of best management practices for enhancing water quality in Quebec, Ghazalian *et al.* (2009) found that education, age and farm size have a positive and significant effect on crop rotation adoption. Conversely to Ghazalian *et al.* (2009), Ramsey *et al.* (2019) found that age, education and farm size had no significant effect on adoption of conservative practices (continuous no till and conservation crop rotation) in Kansas. Moreover, Ramsey *et al.* (2019) have instead found that farmers who viewed conservation practices (continuous no till and conservation crop rotation) either as yield-risk reducing practice or as beneficial for soil improvement were more likely to adopt the conservation practices. Other factors such as perception of environmental benefits (Kolady *et al.*, 2020), gender, climate condition and soil characteristics (Davey et Furtan, 2008) have also been found to influence the CA adoption. Indeed, Davey et Furtan (2008) showed using a Probit model that adoption of conservation tillage in the prairies region of Canada was positively correlated with proportion of black and dark gray soil, average maximum temperature for April and the average maximum temperature of June of the previous year and negatively correlated with the proportion of brown soil and being a man. However, Kolady *et al.* (2020) have shown that, in eastern South Dakota, favorable perception of environment benefits of CA has a positive effect on CA adoption.

❖ Exogenous factors and farm management/financial characteristics

Concerning the exogenous factors and farm management/financial characteristics, several authors have reported the significant effect of off-farm employment, membership in farmer organisation, family labour, land tenure, peer effect, participation in agri-environmental advisory activities (Bavorová *et al.*, 2020; Fisher *et al.*, 2018; Kagoya *et al.*, 2018; Kolady *et al.*, 2020; Tambo et Mockshell, 2018; Tamini, 2011; Ward *et al.*, 2018; Zhong *et al.*, 2015). For example, Tamini (2011), using nonparametric approaches to study the impact of agri-environmental advisory activities on the adoption of six best management practices, found that the participation in agri-environmental advisory activities has a positive impact on the adoption of conservation tillage in Quebec. Kolady *et al.* (2020), on the other hand, found, in eastern South Dakota, that adoption of conservation tillage and crop rotation increases with the proportion of adopters of conservation tillage and crop rotation in a 30-miles radius and hence demonstrated the importance of spatial peer effect on the adoption of conservation agriculture. Other authors have instead focused on the effect of information sources on the adoption of conservation agriculture in the literature. This is the case of Fisher *et al.* (2018) who found in Malawi that while crop rotation adoption was positively correlated with government agent extension contacts, farmer field day visits, non-governmental organisation

contacts, village extension meeting, and negatively correlated with electronic media contacts; minimum tillage adoption was found to be negatively correlated with private agent extension contacts. The same authors also found that mulching adoption was positively associated with private agent extension contacts but negatively correlated with other farmer advice contacts and village extension meetings.

Despite the abundance of studies investigating the factors of adoption of conservation agriculture in the literature, it is important to note that almost all studies rely on the use of the traditional binary indicator which supposes that farmers are adopters or not of conservation agriculture whereas the data show that farmers often have a partial adoption of the principles of conservation agriculture (Grabowski et Kerr, 2013; Mango *et al.*, 2017; Takam Fongang *et al.*, 2023). The main drawback of binary approach is that it cannot account for the complexity of CA and hence is unable to discriminate among farmers who are full adopters, partial adopters or non-adopters of CA (Takam Fongang *et al.*, 2023).

This study therefore contributes to the current debate by analysing the determinants of CA adoption in Quebec. Our contribution differs from previous ones as it uses the recent composite index of adoption of conservation agriculture (CIACA) developed by Takam Fongang *et al.* (2023) for measuring level of adoption of CA among farmers. The advantage of CIACA over binary approach lies on the fact that it permits classification of farmers according to the level of adoption of the three principles of CA. Another advantage of the CIACA is related to the use of a three-years time scale which permits to account for the minimum of three crops which often required for rotation in an ideal CA practice (Takam Fongang *et al.*, 2023).

This study was guided by the hypothesis that there is a negative relationship between risk preference and CA adoption. Indeed, although previous studies have reported the effect of risk preference on adoption agricultural innovations (Abadi Ghadim, 2005; Jin *et al.*, 2020; Liu, 2013; Mao *et al.*, 2019; Mohan, 2020), the effect of risk preference on CA adoption remain unclear. For example, while some studies have reported a positive effect of risk aversion and loss aversion on crop rotation adoption (Jin *et al.*, 2020), other studies have reported no significant effect of loss aversion and risk aversion on zero tillage adoption, residue mulching adoption and intercropping adoption (Ward *et al.*, 2018). Following Liu (2013), we modeled the risk preference of farmers under the cumulative prospect theory (Tversky et Kahneman, 1992) and the risk elicitation experiment was inspired from Tanaka *et al.* (2010).

The remainder of the paper is organised as follows. Sections 5.2 and 5.3 present respectively the methodology of the study, and results and discussion. Section 5.4 provides the conclusion of the study.

5.2 Methodology of the study

5.2.1 Econometric model

Logit, Probit, Tobit, Fractional Logit and multinomial Logit models have been regularly used to analyse the determinants of agricultural innovations adoption in the literature (D'Emden *et al.*, 2008; Davey et Furtan, 2008; Kassie *et al.*, 2015; Khonje *et al.*, 2015; Mango *et al.*, 2017; Shiferaw *et al.*, 2014; Takam-Fongang *et al.*, 2019; Teklewold *et al.*, 2013; Tran-Nam et Tiet, 2022; Zeng *et al.*, 2018). The choice of one or another model generally depends on the nature of the dependent variable (binary variable, continuous between 0 and 1, categorical variable). Thus, Fractional Logit model was used in this study to analyse the factors of CA adoption. This method was preferred over other methods because the dependant variable is a continuous variable which can take only the values from the interval 0 to 1. Fractional Logit model was developed by Papke et Wooldridge (1996) and has been used extensively for analysing fractional dependent variable in the literature (Getahun *et al.*, 2023; Mutyasira *et al.*, 2018; Tran-Nam et Tiet, 2022). Under the Fractional Logit model, the conditional expectation of CA adoption ($CIACA_i$) on X_i and Y_i is as follows:

$$E(CIACA_i/(X_i, Y_i)) = G(X_i a + Y_i \alpha) \quad (5.1)$$

where $CIACA_i$ is CA adoption of a farmer i which can take any value from 0 to 1. X_i and Y_i are respectively the vector of risk preference parameters including risk aversion, loss aversion and probability weighting, and the vector of control variables. a and α are the vectors of parameters to be estimated and $G(X_i \lambda + Y_i \alpha) = \frac{e^{X_i \lambda + Y_i \alpha}}{1 + e^{X_i \lambda + Y_i \alpha}}$ is a logistical function satisfying the following condition:

$$0 < G(X_i a + Y_i \alpha) < 1 \quad (5.2)$$

The control variables were selected based on the literature and are presented in Table 5.1 The model was estimated by the quasi-maximum likelihood method which involved the maximization of the following Bernoulli loglikelihood function:

$$L(a, \alpha) = CIACA_i \log [G(X_i a + Y_i \alpha)] + (1 - CIACA_i) \log [1 - G(X_i a + Y_i \alpha)] \quad (5.3)$$

The adoption of CA was measured by the composite index of adoption of conservation agriculture ($CIACA_i$) recently developed by (Takam Fongang *et al.*, 2023) as follows:

$$CIACA_i = \left[\frac{\sum_{t=1}^3 (w_1 PL_t + w_2 PC_t + w_3 PR_t)}{3} \right]_i \quad (5.4)$$

Where $CIACA_i$ can take any value from 0 to 1 with 0 and 1 standing respectively for non adoption of conservation agriculture and full adoption of conservation agriculture. Any value between 0 and 1 will represents a partial adoption of conservation agriculture. PL_t , PC_t and PR_t stand for respectively the proportions of farm under no or minimum mechanical soil disturbance principle, permanent mulch soil cover/cover crop principle and crop rotation principle in year t ; and w_1 , w_2 and w_3 are their respective weights. These weights which measure the contribution of each principle to the sustainability of the conservation agriculture were obtained from Takam Fongang *et al.* (2023).

Table 5.1: Definition of variables used in the model

Variables	Measurement
Key independent variables	
Risk aversion (σ)	number
Loss aversion (λ)	number
Probability weighting parameter (δ)	number
Control variables	
Farmer's perception regarding the yield of CA (prendac)	Mean of expected yield of CA over 20 years*
Farmer's perception regarding the risk of CA (priskac)	Variance of expected yield of CA over 20 years*
Membership to agri-environmental organization (agroenv)	1 if the farmer belongs to an agri-environmental organisation and 0 otherwise
Secondary education (educs)	1 if the farmer has a secondary education level and 0 otherwise
Collegial education (educc)	1 if the farmer has a collegial education level and 0 otherwise
University education (educu)	1 if the farmer has a university education level and 0 otherwise
Agricultural training (formagri)	1 if farmer has received an agricultural training and 0 otherwise
Age of the farmer (age)	Years
Off-farm employment (travail)	1 if the farmer has an off-farm employment and 0 otherwise
Logarithm of farm size (logsup)	Hectares
Rented farm (flocation)	Hectares
Farmer's perception regarding the easiness of implementing CA (fac)	1= CA is easy or very easy to implement 0= CA is difficult or very difficult to implement

*Computation of farmer's perception regarding the yield and risk of CA is presented in annex J.

5.2.2 Measuring the risk preference

An online experiment based on cumulative prospect theory was used to elicit the risk preferences of farmers in Quebec. Following (Tanaka *et al.*, 2010), we assumed that the utility function of farmers is of the following form:

$$U(x, p; y, q) = \begin{cases} V(y) + w(p)[V(x) - V(y)] & \text{if } x > y > 0 \text{ or } 0 < x < y \\ w(p)V(x) + w(q)V(y) & \text{if } x < 0 < y \end{cases} \quad (5.5)$$

$$\text{With } V(x) = \begin{cases} x^\sigma & \text{for gains } (x > 0) \\ -\lambda(-x)^\sigma & \text{for losses } (x < 0) \end{cases} \quad (5.6)$$

$$w(p) = \exp[-(-\ln p)^\delta] \quad (5.7)$$

Where p and q are the probabilities associated with the outcomes x and y . $w(p)$ is the probability weighting function and δ is a parameter that determines the curvature of the probability weighting function. If $\delta = 1$, we are in absence of probability distortion as $w(p) = p$. On the other hand, if $\delta < 1$, we are in presence of probability distortion characterized by the overweighting of small probabilities and the underweighting of high probabilities. However, if $\delta > 1$, we are still in presence of probability distortion where individuals underweight small probabilities and overweight high probabilities (Bocquého *et al.*, 2014). σ and λ measure respectively the degree of concavity of the value function and the degree of loss aversion. Based on the value of σ , a farmer can be characterized as risk lover ($\sigma > 1$), risk averse ($\sigma < 1$) or risk neutral ($\sigma = 1$) (Bocquého *et al.*, 2014). A higher λ will imply that the farmer is more loss averse (Liu, 2013). Note that the cumulative prospect theory model will reduce to the expected utility model if $\delta = 1$ and $\lambda = 1$.

Three series of paired lotteries adapted from (Tanaka *et al.*, 2010) were used to estimate the risk parameters of farmers. The series of paired lotteries are presented in table 5.2. The series were designed so as the expected payoff of difference between lotteries A and B (A-B) decreases as one goes down. For each series of paired lotteries, it was successively asked farmers to choose between two lotteries A and B. In each series, the next paired lotteries was presented to farmers only if they selected the lottery A in the previous paired lotteries.

The three series were carefully designed so as any combination of choices made by farmer determine particular values of prospect theory parameters σ , δ and λ (Tanaka *et al.*, 2010). Indeed, for any farmer that switches from lottery A to lottery B at row N, we can conclude that the farmer prefers the lottery A over the lottery B at row (N-1) and prefers the lottery B over the lottery A at row N. If the farmer switches at row 1 or never switches, we will have only one inequality and the lower/upper bound was arbitrarily determined like in (Liu, 2013). If for example, a farmer switches at row 5 in both series 1 and 2, we know that the following inequalities should be verified:

$$100^\sigma + \exp[-(-\ln 0.3)^\delta](400^\sigma - 100^\sigma) > 50^\sigma + \exp[-(-\ln 0.1)^\delta](930^\sigma - 50^\sigma) \quad (5.8a)$$

$$100^\sigma + \exp[-(-\ln 0.3)^\delta](400^\sigma - 100^\sigma) < 50^\sigma + \exp[-(-\ln 0.1)^\delta](1060^\sigma - 50^\sigma) \quad (5.8b)$$

$$300^\sigma + \exp[-(-\ln 0.9)^\delta](400^\sigma - 300^\sigma) > 50^\sigma + \exp[-(-\ln 0.7)^\delta](600^\sigma - 50^\sigma) \quad (5.8c)$$

$$300^\sigma + \exp[-(-\ln 0.9)^\delta](400^\sigma - 300^\sigma) < 50^\sigma + \exp[-(-\ln 0.7)^\delta](620^\sigma - 50^\sigma) \quad (5.8d)$$

A rational combination of δ and σ (δ, σ) that verifies these inequalities is (0.7, 0.9). When more than one combination of δ and σ (δ, σ), verified the inequalities, we followed Liu (2013) and approximated δ and σ by the midpoint of interval to one decimal place. Once the parameters σ was calculated, it was then used to determine the loss aversion λ using the choice made by farmer in series 3. Table 5.3 and table 5.4 were used to determine the combination of (δ, σ) for the different switching points in series 1 and 2.

Table 5.2: The series of paired lotteries

Row	Lottery A		Lottery B		Expected payoff difference (A-B)
Series 1					
1	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 680 CAD	90% winning 50 CAD	77
2	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 750 CAD	90% winning 50 CAD	70
3	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 830 CAD	90% winning 50 CAD	60
4	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 930 CAD	90% winning 50 CAD	52
5	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 1060 CAD	90% winning 50 CAD	39
6	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 1250 CAD	90% winning 50 CAD	20
7	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 1500 CAD	90% winning 50 CAD	-5
8	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 1850 CAD	90% winning 50 CAD	-40
9	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 2200 CAD	90% winning 50 CAD	-75
10	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 3000 CAD	90% winning 50 CAD	-155
11	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 4000 CAD	90% winning 50 CAD	-255
12	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 6000 CAD	90% winning 50 CAD	-455
13	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 10000 CAD	90% winning 50 CAD	-855
14	30% winning 400 CAD	70% winning 100 CAD	10% winning 17000 CAD	90% winning 50 CAD	-1555
Series 2					
1	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 540 CAD	30% winning 50 CAD	-3
2	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 560 CAD	30% winning 50 CAD	-17
3	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 580 CAD	30% winning 50 CAD	-31
4	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 600 CAD	30% winning 50 CAD	-45
5	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 620 CAD	30% winning 50 CAD	-59
6	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 650 CAD	30% winning 50 CAD	-80
7	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 680 CAD	30% winning 50 CAD	-101
8	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 720 CAD	30% winning 50 CAD	-129
9	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 770 CAD	30% winning 50 CAD	-164
10	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 830 CAD	30% winning 50 CAD	-206
11	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 900 CAD	30% winning 50 CAD	-255
12	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 1000 CAD	30% winning 50 CAD	-325
13	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 1100 CAD	30% winning 50 CAD	-395
14	90% winning 400 CAD	10% winning 300 CAD	70% winning 1300 CAD	30% winning 50 CAD	-535
Series 3					

1	50% winning 250 CAD	50% losing 40 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 210 CAD	60
2	50% winning 40 CAD	50% losing 40 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 210 CAD	-45
3	50% winning 10 CAD	50% losing 40 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 210 CAD	-60
4	50% winning 10 CAD	50% losing 40 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 160 CAD	-85
5	50% winning 10 CAD	50% losing 80 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 160 CAD	-105
6	50% winning 10 CAD	50% losing 80 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 140 CAD	-115
7	50% winning 10 CAD	50% losing 80 CAD	50% winning 300 CAD	50% losing 110 CAD	-130

Table 5.3: Switching point in series 1 and approximations of values of δ and σ

		δ																				
		0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2
σ	0.10	5	7	8	9	11	12	13	14	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	0.20	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	0.30	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	0.40	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	14	99	99	99	99	99	99	99	99
	0.50	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	99	99	99	99	99	99	99
	0.60	1	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	99	99	99	99	99	99
	0.70	1	1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	99	99	99	99	99
	0.80	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	14	99	99	99
	0.90	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	14	99	99
	1	1	1	1	1	1	2	3	4	6	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	14	99
	1.10	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	10	11	12	12	13	14	14
	1.20	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	13	13	14
	1.30	1	1	1	1	1	1	2	2	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	12	13	13
	1.40	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	12	13
	1.50	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	12
	1.60	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	11	12
	1.70	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	8	10	10	11	12
	1.80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11
	1.90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10

99 stands for the case where farmer keeps preferring lottery A over lottery B in all the 14 questions in series 1.

Table 5.4: Switching point in series 2 and approximations of values of δ and σ

		δ																				
		0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2
σ	0.10	99	99	99	99	99	99	14	14	13	12	11	10	9	7	6	5	4	3	2	1	1
	0.20	99	99	99	99	99	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1
	0.30	99	99	99	99	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1
	0.40	99	99	14	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1
	0.50	99	14	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1
	0.60	14	13	12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1
	0.70	13	12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	0.80	12	11	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0.90	11	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.20	9	8	7	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.30	8	7	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.40	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.50	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.60	6	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.70	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.80	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.90	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

99 stands for the case where farmer keeps preferring lottery A over lottery B in all the 14 questions in series 2.

5.2.3 Source of data

Primary data were collected to achieve the objective of the study. Data were obtained from an online survey of maize and soybean producers that was carried out from February to April 2021 in Quebec. An online survey was chosen for the purpose of this study as it allowed a survey of maize and soybean producers during the Covid 19 pandemic while maintaining the social distancing rules. A unique questionnaire was used to collect a variety of information on maize and soybean producers including socio-economic characteristics of farmers and farm characteristics. Out of the 298 maize and soybean producers that participated in the survey, 93 respondents (31%) completed the risk elicitation section. These 93 respondents were therefore retained for computing risk parameters but only 63 were retained for regression analysis because of missing values in other variables used in the model. The description of variables used in this study is presented in table 5.5.

Table 5.5: Descriptive statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
CIACA	63	0.77	0.26	0	1
Risk aversion (σ)	93	0.88	0.45	0.10	1.5
Probability weighting parameter (δ)	93	0.91	0.34	0.10	1.5
Loss aversion (λ)	93	1.68	2.25	0.12	11.23
Farmer's perception regarding the yield of CA	63	8.74	1.17	6.65	11
Farmer's perception regarding the risk of CA	63	0.70	0.50	0	2.29
Membership to agri-environmental organization	63	0.54	0.50	0	1
Secondary education	63	0.32	0.47	0	1
Collegial education	63	0.41	0.50	0	1
University education	63	0.27	0.45	0	1
Agricultural training	63	0.65	0.48	0	1
Age of the farmer	63	52.43	12.23	24	72
Off-farm job	63	0.19	0.40	0	1
Logarithm of farm size	63	5.31	0.97	3.22	7.89
Rented farm land	63	77.08	263.15	0	2023.47
Farmer's perception regarding the easiness of implementing CA	63	0.68	0.47	0	1

5.3 Results and discussion

5.3.1 Risk elicitation results

The distribution of switching points obtained from the risk elicitation experiment is presented in table 5.6. The table shows the proportion of farmers that switch at the first row is the highest in series 2 and 3 with

respectively 46.2% and 32.3% while in series 1, the highest proportion of farmers that never switch is 21.5% (Table 5.6). Based on the combination of switching points of farmers, we computed the risk parameters of farmers using information from table 5.3 and 5.4. The results show that risk aversion σ , probability weighting parameter δ and loss aversion λ are respectively 0.88, 0.91 and 1.68. Using the t-test, we found that that the three risk parameters were statistically different from one at 5 percent significance level thereby rejecting the expected utility framework in favor of cumulative prospect theory model. Indeed, the results show that maize and soybean producers in Quebec are risk averse (0.88). This result corroborates with previous studies in China (Hou *et al.*, 2020) and France (Bocquého *et al.*, 2014) which also found that farmers are risk averse although the degree of risk aversion were greater in those countries (0.64 in China and 0.51 in France). The results also show that probability weighting parameter δ is 0.91 meaning that most farmers tend to overweight small probabilities and underweight high probabilities as predicted by the cumulative prospect theory (Tversky et Kahneman, 1992). This result was also obtained in previous studies (Mao *et al.*, 2019; Tanaka *et al.*, 2010). A loss aversion of 1.68 indicates a higher sensitivity of farmers to loss than to equivalent gain.

Table 5.6: Distribution of switching points

Switching point	Proportion of farmers		
	Series 1	Series 2	Series 3
1	17.20	46.24	32.26
2	4.30	8.60	31.18
3	4.30	5.38	17.20
4	4.30	7.53	3.23
5	9.68	2.15	6.45
6	4.30	3.23	2.15
7	10.75	3.23	4.30
8	3.23	2.15	
9	6.45	2.15	
10	2.15	6.45	
11	6.45	1.08	
12	2.15	1.08	
13	3.23		
14			
99	21.51	10.75	3.23
Total	100	100	100
Number of observations	93	93	93

5.3.2 Econometric results

The econometric results are presented in table 5.7. Models 2 and 1 are respectively the estimation results of the model with and without the control variables. Prior to the estimation of the model, the pairwise correlation matrix was computed to check the existence of multicollinearity between independent variables. The pairwise correlation matrix presented in annex K shows a weak correlation between independent variables and therefore an absence of multicollinearity issue. This absence of collinearity issue is further confirmed by the lower variance inflation factor (1.50). Model 1 shows that risk aversion, loss aversion and probability weighting distortion do not affect the degree of adoption of CA. This result remains unchanged even when we control for other factors of adoption of CA (Model 2). The results contradict with previous studies such as Jin *et al.* (2020) who found that risk aversion and loss aversion have a positive effect on adoption of crop rotation in China. This absence of the effect of risk parameters on the adoption of CA is in line with the results of Ward *et al.* (2018) obtained in Southern Malawi, and can be explained by the fact that most maize and soybean producers are already familiar with the conservation agricultural practices in Quebec. Indeed, all the 63 surveyed farmers declared to know the CA and according to a recent study, most maize and soybean producers (98.61%) are either partial or full adopters of CA in Quebec (Takam Fongang *et al.*, 2023). It is worth noting that the level of subsidies can enhance the ability of farmers to handle risk and their motivations to adopt CA. Indeed, some programmes like Agri-Stabilité and Agri-Québec Plus are specifically designed to protect farmer incomes from a drop of production margin and by doing so they help farmers to handle risk.

Model 2 shows that only three variables, farmer's perception regarding the yield of CA, off-farm employment and farmer's perception regarding the easiness of implementing CA are statistically influencing the adoption of CA (Table 5.7). Indeed, the results shows that farmers with favorable perception of the potential yield of CA tend to have higher level of adoption of CA. More precisely, if the expected yield of CA increases by 1 tonne/ha, the intensity of adoption of CA will increase by 0.1. This is not surprising as several studies have also reported that favorable perception of yield potential of an agricultural innovation tend to increase the level of adoption of that innovation (Ramsey *et al.*, 2019; Takam-Fongang *et al.*, 2019). This is the case of Ramsey *et al.* (2019) who showed in Kansas that farmers who viewed CA practices (no-till, crop rotation and cover crops) as yield-risk reducing practices tend to adopt them. The model 2 also shows that farmers with off-farm employment tend to increase level of adoption of CA by 0.1. This is in contradiction with some previous studies that found a negative effect of off-farm income on adoption of conservation agricultural practices (Manda *et al.*, 2016; Ng'ombe *et al.*,

2014). However, two likely reasons may explain this positive effect of off-farm employment on CA adoption. Firstly, off-farm employment as a source of income can contribute to finance the acquisition of machinery necessary for implementing CA. Secondly, farmer with off-farm employment will tend to adopt CA because it is a labour reducing practice (AFD, 2006). This labour reducing effect has been documented in the literature. For example, Król-Badziak *et al.* (2021) have showed that no-till and reduced tillage require less labour (7.47 and 9.52 hour/ha) than conventional tillage (10.80 hour/ha) for the production of maize in Poland. However, this latter reason may be challenged in other context like in Sub-Saharan Africa where it has been shown that that adoption of CA instead increases farms' labour input requirements (Montt et Luu, 2019). This is certainly why several authors have found a negative effect of off-farm income on adoption of conservation agricultural practices in some Sub-Saharan African countries (Manda *et al.*, 2016; Ng'ombe *et al.*, 2014). The results of model 2 further show that the farmer's perception regarding the easiness of implementing CA has positive and significant effect on the adoption of CA. Farmers who view CA as easy or very easy to implement will have a level CA adoption increased by 0.2. This positive effect which was also emphasized by Abdulai (2016) in Zambia, can be explained by the higher complexity of CA as compared with the traditional conventional tillage. Indeed, CA is made up of three interlink agricultural principles (absence or minimum mechanical soil disturbance, the permanent soil cover by mulch and/or cover crop, and crop diversity/rotation) which should be fully adopted in order to get the full potential of CA.

Table 5.7 Econometric results

VARIABLES	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5	
	Coef	ME	Coef	ME	Coef	ME	Coef	ME	Coef	ME
Risk aversion (σ)	-0.437 (0.481)	-0.076 (0.084)	-0.212 (0.427)	-0.034 (0.069)	-0.518 (0.538)	-0.092 (0.095)	-0.339 (0.416)	-0.052 (0.064)	-0.362 (0.436)	-0.056 (0.067)
Probability weighting parameter (δ)	0.288 (0.595)	0.050 (0.104)	0.605 (0.512)	0.097 (0.082)	0.374 (0.607)	0.066 (0.108)	1.006* (0.544)	0.155* (0.085)		
Z									-0.636* (0.385)	-0.098 (0.059)
Loss aversion (λ)	0.060 (0.073)	0.010 (0.013)	0.062 (0.078)	0.010 (0.012)	0.050 (0.077)	0.009 (0.014)	0.074 (0.080)	0.011 (0.012)	0.081 (0.088)	0.012 (0.013)
Farmer's perception regarding the yield of CA			0.592*** (0.214)	0.095*** (0.032)			0.860*** (0.169)	0.133*** (0.027)	0.825*** (0.168)	0.128*** (0.026)
Farmer's perception regarding the risk of CA			0.702 (0.435)	0.112 (0.071)			0.506 (0.428)	0.078 (0.066)	0.563 (0.467)	0.087 (0.072)
Membership to agri-environmental organization			0.177 (0.394)	0.028 (0.063)			-0.231 (0.384)	-0.035 (0.059)	-0.123 (0.369)	-0.019 (0.057)
Collegial education			-0.177 (0.445)	-0.029 (0.073)			-0.150 (0.491)	-0.023 (0.077)	-0.148 (0.497)	-0.023 (0.078)
University education			0.574 (0.530)	0.085 (0.069)			1.223** (0.564)	0.158** (0.059)	1.234** (0.582)	0.160*** (0.059)
Agricultural training			0.180 (0.393)	0.029 (0.065)			0.233 (0.414)	0.037 (0.067)	0.228 (0.419)	0.036 (0.068)
Age of the farmer			0.012 (0.019)	0.002 (0.003)			0.025 (0.020)	0.004 (0.003)	0.027 (0.020)	0.004 (0.003)
Off-farm employment			0.903* (0.510)	0.121** (0.060)			1.032 (0.652)	0.130* (0.068)	0.908 (0.629)	0.118* (0.069)
Logarithm of farm size			0.067 (0.241)	0.011 (0.039)			0.092 (0.278)	0.014 (0.043)	0.110 (0.273)	0.017 (0.042)
Rented farm land			0.001 (0.001)	0.000 (0.000)			0.001 (0.001)	0.000 (0.000)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)
Farmer's perception regarding the easiness of implementing CA			1.108*** (0.361)	0.198*** (0.069)			1.211*** (0.426)	0.210*** (0.082)	1.185*** (0.413)	0.205*** (0.079)
Constant	1.256* (0.764)		-7.033*** (2.592)		1.223 (0.752)		-10.389*** (2.499)			
Observations	63	63	63	63	57	57	57	57	57	57
Pseudo R-square	0.01		0.12		0.01		0.15		0.15	

Robust standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1; ME stands for marginal effect.

One likely problem that might emerge from the above estimations is whether all farmers really understand the risk elicitation experiment. For example, we noted that 8.6% of the 93 farmers that participated into the risk elicitation experiment have chosen either lottery B at the first question in all the three series or lottery A at all the questions in all the three series. So, we questioned ourselves if this subgroup of farmers really understood the operating rule of the risk elicitation experiment. If they did not understand the rule, the inclusion of these farmers in the data may have added bias in the estimation. Therefore, we followed Liu (2013) and removed these farmers from the sample; and recalculated the regressions. The results which are presented in models 3 and 4 are quasi consistent with previous estimations. The sign and significance of all parameters are maintained except for off-farm employment which is no longer statistically different from zero and probability weighting parameter which is now significant. Indeed, the results still show all the risk parameters do not have any significant effect on adoption of CA in Quebec except probability weighting parameter which has a positive effect on adoption of CA. To ease the interpretation of this latter factor, we created a dummy variable Z taking 1 if the farmer tends to overweight small probabilities ($\delta < 1$) and 0 otherwise ($1 \leq \delta$); and we recalculated the regression in model 5. In model 5, one can see that farmers who overweight small probabilities also tend to reduce their level of CA adoption. Results from models 4 and 5 also show that the key determinants of adoption of CA are the farmer's perception regarding the easiness of implementing CA, farmer's perception regarding the yield of CA and level of education. Indeed, the results show obtaining a university degree will increase the level of adoption of CA by 0.16. This positive effect of education on adoption of CA is consistent with previous studies (Abdulai, 2016; D'Emden *et al.*, 2008; Ward *et al.*, 2018). The literature explained this positive relationship by the increase in capacity of farmers to acquire and analyse information about agricultural technologies that ultimately help them to make the best decisions (Feder et Slade, 1984). Another reason of the positive effect of education is related to the fact that CA is knowledge intensive practice rather than input intensive practice (Wall, 2007) meaning that the success of CA will depend mainly on the good management of the farm rather than on the level of inputs used by farmers (Wall, 2007). Education can then increase the management skill which can help farmers to adopt complex agricultural practice such as CA.

Table 5.8 Econometric results with interactions

VARIABLES	(1) Model 1a	(3) Model 2a	(5) Model 3a	(7) Model 4a
Risk aversion (σ)	-1.658 (2.118)	-0.923 (1.965)	-3.074 (2.653)	-2.807 (2.074)
Probability weighting parameter (δ)	-0.802 (2.295)	0.915 (1.920)	-1.736 (2.560)	0.161 (1.978)
Interaction between σ and δ	1.555 (2.476)	0.390 (2.088)	2.763 (2.809)	2.011 (2.087)
Loss aversion (λ)	0.045 (0.594)	0.299 (0.471)	-0.518 (0.841)	-0.197 (0.653)
Interaction between σ and λ	0.225 (0.913)	0.054 (0.544)	0.883 (1.052)	0.775 (0.656)
Interaction between δ and λ	0.041 (0.690)	-0.474 (0.512)	0.508 (0.814)	-0.082 (0.636)
Interaction between σ , λ and δ	-0.298 (1.149)	0.148 (0.674)	-0.894 (1.167)	-0.510 (0.719)
Farmer's perception regarding the yield of CA		0.611*** (0.219)		0.912*** (0.180)
Farmer's perception regarding the risk of CA		0.917** (0.420)		0.854** (0.397)
Membership to agri-environmental organization		0.036 (0.410)		-0.438 (0.364)
Collegial education		-0.238 (0.462)		-0.390 (0.536)
University education		0.597 (0.549)		1.085** (0.540)
Agricultural training		0.181 (0.414)		0.350 (0.419)
Age of the farmer		0.012 (0.019)		0.027 (0.020)
Off-farm employment		1.120** (0.549)		1.339* (0.695)
Logarithm of farm size		-0.011 (0.236)		0.065 (0.267)
Rented farm land		0.001 (0.001)		0.001 (0.001)
Farmer's perception regarding the easiness of implementing CA		1.347*** (0.400)		1.540*** (0.473)
Constant	2.079 (2.047)	-6.941* (3.583)	3.205 (2.504)	-9.755*** (3.506)
Observations	63	63	57	57
Pseudo R-square	0.02	0.14	0.02	0.18

Robust standard errors in parentheses *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$; ME stands for marginal effect.

Following the recommendation of an anonymous reviewer, we also run several alternative models of which interactions between risk parameters are considered in the model. The objective of these models is to capture the potential interactions between risk parameters which are normally inherent from the process of calculating these parameters. Results are presented in Table 5.8. Model 1a and 2a are obtained using full sample while model 3a and 4a are obtained using limited sample as before. Results are quasi consistent with previous ones. All risk parameters and their interactions are insignificant in the four models. This further confirmed the lack of effect of risk parameters on the adoption of CA in Quebec. The results also confirm education, farmer's perception regarding the yield of CA, off-farm employment and farmer's perception regarding the easiness of implementing CA in addition to farmer's perception regarding the risk of CA, as key factors of adoption of CA. Government should therefore pay attention to these factors when promoting the adoption of CA practices.

However, it is important to note that the study suffers from some limitations. In fact, the sample size was relatively small in this study, which limits the power of the statistical tests and the validity of the results. Although 298 maize and soybean producers participated in the survey, this number was reduced during the statistical analyses due to missing data and poorly completed questionnaires by the respondents. It is important to note that the survey was conducted during the COVID-19 pandemic, a context that may have influenced the participation rate of maize and soybean producers. Therefore, this small sample size limits the generalization of the results to all Quebec farmers. Furthermore, the pseudo R-squares were relatively small. That is why additional studies need to be conducted to improve our understanding of the issue of the adoption of CA in Quebec.

5.4 Conclusion

This study uses the recent composite index of adoption of CA developed by Takam Fongang *et al.* (2023) to analyse the factors of adoption of CA among maize and soybean farmers in Quebec. Specifically, the study tests the empirical relationship between risk parameters and adoption of CA in Quebec. Using data from 93 maize and soybean producers and a Fractional Logit model, the study globally shows that risk parameters do not have any significant effect on the adoption of CA. The study instead identifies (1) farmer's perception regarding the easiness of implementing CA; (2) farmer's perception regarding the yield of CA, (3) off-farm employment and (3) higher education as the main factors of adoption of CA among

maize and soybean farmers in Quebec. More precisely, the study shows that farmers with a university education level, who have an off-farm employment, perceive AC as easy to implement and having greater expected yield tend to adopt CA. The study therefore formulates two main recommendations including the promotion of education especially higher education among farmers and the provision of technical assistance, in order to boost the adoption of CA. Education and technical assistance are particularly important for boosting adoption of CA because they improve farm management skills of farmers which necessary to handle a knowledge-intensive practice like CA. Government should also popularize the performance of CA. Such activities will shape farmers' perception regarding the yield of CA and thereby increase the level of adoption of CA.

CHAPITRE 6

DISCUSSION GÉNÉRALE

6.1 Principales contributions

L'objectif principal de cette thèse était d'analyser l'adoption et la durabilité de l'agriculture de conservation dans les grandes cultures de maïs et soja au Québec. Bien que les questions soulevées par l'objectif de cette thèse ne soient pas nouvelles dans la littérature, notre travail de recherche contribue à l'amélioration des connaissances sur la problématique de l'adoption de l'agriculture de conservation d'une part et de la durabilité des pratiques agricoles d'autre part. Les principales contributions de la thèse ont été organisées autour des trois chapitres clés de la thèse (chapitre 3, 4 et 5). Elles incluent notamment une contribution méthodologique portant sur la mesure de l'adoption de l'agriculture de conservation, une contribution à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles et une contribution à l'analyse de l'adoption de l'agriculture de conservation au Québec.

6.1.1 Contribution méthodologique

Sur le plan méthodologique, cette thèse propose une nouvelle approche de mesure de l'adoption de l'agriculture de conservation. Dans la littérature, les agriculteurs sont souvent considérés, à tort ou à raison, comme adoptants ou non de l'agriculture de conservation (Abdulai, 2016; Mango *et al.*, 2017), alors que dans la réalité, certains agriculteurs n'adoptent que partiellement les principes de l'agriculture de conservation (Grabowski et Kerr, 2013; Mango *et al.*, 2017) ou l'adoptent tout en restant flexibles afin de répondre aux incitatifs du marché ou de l'environnement biophysique (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). Notre approche est innovante car elle permet de tenir compte de toute la complexité de l'agriculture de conservation, qui est caractérisée par trois principes : l'absence de travail du sol ou un travail minimum du sol, une couverture végétale permanente du sol, et une association et/ou rotation culturale (Kassam *et al.*, 2018). Notre approche est également novatrice car elle est construite sur une base triennale. Ceci permet de prendre en compte le fait qu'une agriculture de conservation idéale impliquerait une rotation d'au moins trois cultures (Kassam *et al.*, 2018). L'application de cette nouvelle approche a permis de montrer qu'au Québec, seulement 21,5% des producteurs de maïs et de soja pratiquent l'agriculture de conservation, c'est-à-dire qu'ils appliquent les trois principes de l'agriculture de conservation sur la totalité de leur champ au cours des trois dernières années. Beaucoup de producteurs de maïs et de soja au Québec ont plutôt une adoption partielle de l'agriculture de conservation (77,1%) ou

font preuve d'une certaine flexibilité dans son adoption (38,9%). Ce constat n'est pas anecdotique, puisque d'autres études ont abouti au même résultat dans la littérature. Par exemple, (Wade et Claassen, 2017) ont montré dans une étude aux États-Unis que sur quatre années successives, seulement 17% et 25% respectivement des producteurs de maïs et de soja déclaraient appliquer le non-labour de manière continue, contre 30% et 30% qui utilisaient alternativement le non-labour et le labour. Cette flexibilité dans l'adoption de l'agriculture de conservation peut s'expliquer soit par les opportunités de marché, soit par les conditions biophysiques du champ (Higgins *et al.*, 2018; Llewellyn *et al.*, 2012). En effet, les agriculteurs adopteront ou abandonneront certains principes de l'agriculture de conservation afin de profiter des opportunités de marché. Par exemple, les agriculteurs peuvent faire tourner les cultures afin de maximiser les profits lorsque le prix des cultures de rotation est élevé sur le marché (Kirkegaard *et al.*, 2014). Ils peuvent également adopter ou abandonner certains principes de l'agriculture de conservation en fonction des conditions biophysiques du champ. Dans un système intensif, la rotation culturale est souvent considérée comme un outil stratégique utilisé par les agriculteurs pour restaurer le niveau d'azote et briser le cycle des maladies (Kirkegaard *et al.*, 2014). Il en va de même pour le labour, qui est souvent utilisé stratégiquement pour contrôler les mauvaises herbes résistantes aux herbicides ou pour réduire la compaction du sol et favoriser la minéralisation (Conyers *et al.*, 2019; Kirkegaard *et al.*, 2014).

Sur le plan pratique, la nouvelle mesure de l'adoption de l'agriculture de conservation revêt une importance capitale si nous voulons encourager l'adoption de cette pratique par des incitatifs financiers. Notre approche peut être utilisée pour allouer équitablement les subventions aux agriculteurs car elle permet de discriminer les agriculteurs en fonction de leur niveau réel d'adoption des principes de l'agriculture de conservation.

Nous avons également démontré dans le chapitre 4 que les trois principes de l'agriculture de conservation contribuent différemment à l'atteinte de la durabilité de la pratique ou tout simplement qu'ils n'ont pas le même poids dans le calcul de l'indice d'adoption de l'agriculture de conservation. L'absence du travail du sol ou le travail minimum du sol a le plus grand poids. Il est suivi respectivement par la rotation culturale et la couverture végétale permanente du sol. Bien que ces poids aient été calculés à partir du jugement des experts, les différences observées peuvent s'expliquer par l'importance des différentes fonctions que remplit chaque principe de l'agriculture de conservation. Par exemple, les fonctions fournies par le premier principe (absence du travail du sol ou travail minimum du sol) incluent entre autres la minimisation de l'oxydation de la matière organique du sol, la réduction de la main-d'œuvre et de la consommation

d'énergie, la réduction de l'érosion des sols et autres fonctions. L'ensemble des fonctions est présenté dans (Kassam *et al.*, 2011). Les fonctions fournies par la couverture végétale permanente du sol incluent entre autres l'augmentation de l'humidité du sol, des éléments nutritifs du sol et des rendements, la réduction de la présence de mauvaises herbes, la réduction de l'évaporation et du ruissellement de l'eau du sol, l'augmentation du carbone organique du sol et la préservation de la faune du sol (Murungu *et al.*, 2011; Ranaivoson *et al.*, 2017). Celles de la rotation culturale incluent quant à elle le contrôle des infestations d'insectes et de pathogènes et l'amélioration des éléments nutritifs du sol (Vanlauwe *et al.*, 2014).

6.1.2 Contribution à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles

Dans le chapitre 3 de cette thèse, nous procédons à une évaluation de la durabilité des pratiques agricoles dans les grandes cultures de maïs et soja au Québec. Bien que cette question ait fait l'objet de nombreuses études par le passé (Craheix *et al.*, 2016; Król-Badziak *et al.*, 2021; Król *et al.*, 2018), notre recherche se distingue des précédentes à au moins deux niveaux. Elle est la première, à notre connaissance, à utiliser une approche participative pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles dans les grandes cultures au Québec. Contrairement aux études précédentes, qui analysent soit certains aspects spécifiques de la durabilité (Afshar et Dekamin, 2022; Viana *et al.*, 2022), soit la durabilité des systèmes de labour et de l'agriculture biologique uniquement (Król-Badziak *et al.*, 2021; Król *et al.*, 2018), ce travail de recherche évalue la durabilité de ces pratiques lorsqu'elles sont combinées avec d'autres pratiques agricoles telles que la rotation des cultures et les plantes de couverture. Ce travail de recherche nous a permis d'identifier les cinq pratiques agricoles les plus durables parmi les 36 pratiques agricoles initialement identifiées par les parties prenantes. Les cinq pratiques agricoles identifiées dans l'ordre décroissant sont les suivantes: agriculture de conservation AC₁ (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant organique), AC₂ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant organique), semis direct sous couverture végétale permanente SCV (Semis direct + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique), AC₃ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique) et AC₄ (Travail réduit du sol + rotation des cultures+ plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant chimique). On peut donc constater que les cinq pratiques agricoles les plus durables appartiennent toutes à la famille de l'agriculture de conservation, qui est caractérisée par trois principes : une absence de travail du sol ou un travail minimum du sol, une couverture végétale permanente du sol, et une association et/ou rotation culturale (Kassam *et al.*, 2018).

Cette bonne performance de l'agriculture de conservation peut se justifier, au moins à deux niveaux économique et agronomique.

Au niveau économique, l'agriculture de conservation permet de réduire le temps de travail et la main-d'œuvre, ainsi que les coûts de carburant et d'intrants d'une part, et de maintenir des niveaux de production proches des systèmes de production intensifs (AFD, 2006; Kassam *et al.*, 2011). Ces réductions se traduisent généralement par une baisse des coûts de production de manière générale et, par ricochet, par une augmentation des marges de profit (Jat *et al.*, 2020; Vastola *et al.*, 2017). Au niveau agronomique, elle favorise un environnement adapté à l'activité biologique, une augmentation du volume de matière organique, une conservation de l'eau dans le sol grâce à l'accroissement du taux d'infiltration de l'eau et la diminution de l'évaporation, une amélioration de la structure du sol, un contrôle des adventices et des maladies des plantes, une productivité accrue, et une atténuation des impacts du changement climatique (AFD, 2006; Ranaivoson *et al.*, 2017).

Malgré ces avantages, on constate encore que beaucoup de producteurs québécois continuent de pratiquer le labour conventionnel, malgré ses divers effets négatifs sur l'environnement. À titre d'illustration, les statistiques montrent que 36% des surfaces agricoles exploitées au Québec sont sous labour conventionnel, contre 17% et 47% respectivement sous semis direct et labour de conservation (Statistics Canada, 2022a). Le sondage effectué dans cette thèse auprès des producteurs de maïs et de soja québécois a également montré que seulement 21,5% des 144 producteurs sondés pratiquent une agriculture de conservation complète, c'est-à-dire qu'ils appliquent les trois principes de l'agriculture de conservation sur la totalité de leurs champs de maïs et de soja. Quatre facteurs clés (les bonnes perceptions de l'agriculteur sur les rendements et la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation, l'emploi non agricole et le niveau d'éducation) ont été identifiés dans cette thèse comme les principaux facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation au Québec. Ces facteurs sont présentés en détail un peu plus bas.

L'analyse approfondie des cinq pratiques agricoles les plus durables identifiées précédemment révèle que la pratique agricole la plus durable est la pratique AC1 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant organique), suivie respectivement des pratiques AC2 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant organique), SCV (Semis direct + rotation des cultures + plantes de couverture mortes +

résidus agricoles + intrant chimique), AC3 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique) et AC4 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant chimique). Ce classement démontre que les deux pratiques agricoles les plus durables appartiennent toutes deux à la famille de l'agriculture biologique, puisqu'elles reposent exclusivement sur l'usage d'intrants organiques. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces bonnes performances. D'abord, au niveau environnemental, ces performances élevées sont principalement dues à la non-utilisation d'intrants chimiques de synthèse, qui contribuent à la pollution de l'environnement et à l'augmentation des gaz à effet de serre (Chandini *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2017). Bien que des études antérieures aient montré que l'utilisation d'engrais organiques est souvent associée à un potentiel d'eutrophisation plus élevé (Clark et Tilman, 2017) en raison des décalages temporels entre la demande en éléments nutritifs des plantes et leur disponibilité (Jones *et al.*, 2005), la présente étude semble indiquer que le décalage temporel entre la demande en éléments nutritifs des plantes et leur disponibilité dans les pratiques biologiques pourrait être atténué par la présence de cultures de couverture. Cette fonction de réduction de la lixiviation des nitrates ou du lessivage des éléments nutritifs par les cultures de couverture a été documentée par (Thapa *et al.*, 2018). Des études antérieures ont également montré l'effet positif de la combinaison de la gestion culturale biologique et du travail réduit du sol sur la structure du sol (Loaiza Puerta *et al.*, 2018) et sur la réduction de l'érosion du sol (Seitz *et al.*, 2018).

Ensuite, au niveau social, ces bonnes performances s'expliquent plutôt par la capacité des pratiques biologiques à créer des emplois, la qualité des produits issus de ces pratiques, la qualité de la cohabitation qu'elles permettent et l'état de santé mentale et physique de la communauté. Ces différents bénéfices sont en parfait accord avec la littérature, puisque des études antérieures ont montré que l'agriculture biologique avait une plus grande contribution à l'emploi que le labour conventionnel (Mendoza, 2004) d'une part et que le travail réduit du sol avait une plus grande contribution à l'emploi que le semis direct d'autre part (Craheix *et al.*, 2016; Król-Badziak *et al.*, 2021). La littérature montre aussi que l'agriculture biologique fournit généralement des produits de qualité supérieure et entraîne une faible exposition des travailleurs aux pesticides (Reganold et Wachter, 2016). Elle peut aussi être utilisée comme mesure d'adaptation pour limiter les conflits entre les agriculteurs et les riverains (Hermelin-Burnol et Preux, 2021).

Enfin, au niveau économique, les bonnes performances des pratiques biologiques (AC₁ et AC₂) s'expliquent notamment par leur plus grande marge bénéficiaire. Au Québec, la marge bénéficiaire des grains

biologiques peut atteindre jusqu'à quatre fois celle obtenue en régie conventionnelle (FLC, 2020). Cette grande marge bénéficiaire des productions en régie biologique est obtenue malgré des rendements plus faibles comparativement aux productions en régie conventionnelle (Reganold et Wachter, 2016; Seufert *et al.*, 2012). Cette grande marge bénéficiaire est principalement le fruit de la prime qui est payée par les consommateurs pour les produits biologiques (FLC, 2020).

Toutefois, malgré la bonne position qu'occupent les pratiques biologiques dans le classement des meilleures pratiques durables, leur mise en œuvre peut poser un défi opérationnel majeur, notamment concernant le contrôle des adventices. En effet, les adventices constituent un casse-tête pour les producteurs en régie biologique qui doivent normalement travailler davantage le sol afin de les contrôler. Or, dans le cadre des pratiques biologiques (AC₁ et AC₂), le travail du sol est réduit et les producteurs doivent maintenant compter davantage sur les plantes de couverture pour contrôler les adventices. Dans ce contexte, la capacité des plantes de couverture à contrôler les adventices n'est pas toujours assurée et est fortement impactée par le taux de survie des plantes de couverture pendant l'hiver, le mauvais fauchage des plantes de couverture (temps et méthode), la variabilité de la biomasse des plantes de couverture dans le champ, la faible biomasse des plantes de couverture et la compétition entre les plantes de couverture et la culture principale (Halde *et al.*, 2017). Ceci aura donc pour conséquence de réduire davantage les rendements des pratiques biologiques.

6.1.3 Contribution à l'analyse de l'adoption de l'agriculture de conservation

Cette thèse fait une analyse de l'adoption de l'agriculture de conservation au Québec (chapitre 5) et ce faisant, elle contribue à la littérature sur l'adoption des innovations agricoles. Contrairement aux études précédentes qui reposaient sur une mesure binaire de l'adoption de l'agriculture de conservation dans leurs analyses (Abdulai, 2016; Mango *et al.*, 2017), cette thèse utilise l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation (CIACA) récemment développé par Takam Fongang *et al.* (2023) pour mesurer l'adoption de l'agriculture de conservation. L'avantage du CIACA par rapport à l'approche binaire réside dans le fait qu'il permet de classer les agriculteurs en fonction de leur niveau d'adoption des principes de l'agriculture de conservation d'une part ; il est construit sur une base triennale, ce qui permet de prendre en compte le minimum de trois cultures de rotation souvent requises dans une pratique idéale d'AC (Takam Fongang *et al.*, 2023).

Dans le chapitre 5 de la thèse, nous avons montré que quatre facteurs clés jouent un rôle majeur dans l'adoption de l'agriculture de conservation au Québec : les bonnes perceptions de l'agriculteur sur les rendements et la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation, l'emploi non agricole et le niveau d'éducation. En effet, nous avons constaté que l'adoption de l'agriculture de conservation augmente avec les rendements espérés perçus par les agriculteurs. Plusieurs autres études ont rapporté des résultats similaires dans la littérature, même si elles ne portaient pas toutes nécessairement sur l'agriculture de conservation (Ramsey *et al.*, 2019; Takam-Fongang *et al.*, 2019). Par exemple, dans une étude sur l'adoption des variétés améliorées de maïs au Cameroun, Takam-Fongang *et al.* (2019) ont montré que les agriculteurs qui pensaient que les variétés améliorées de maïs avaient de meilleurs rendements que les variétés traditionnelles étaient ceux qui adoptaient le plus ces variétés. Dans la même lancée, Ramsey *et al.* (2019) ont démontré au Kansas, aux États-Unis, que ce sont les agriculteurs qui considéraient les pratiques de l'agriculture de conservation comme des pratiques permettant de réduire le risque de baisse de rendement qui adoptaient le plus ces pratiques. Ceci souligne l'importance d'une plus grande vulgarisation auprès des agriculteurs. Il est nécessaire de communiquer davantage sur les bonnes performances de l'agriculture de conservation afin d'aider les agriculteurs à prendre des décisions éclairées concernant son adoption.

Ensuite, nous avons montré que les bonnes perceptions de l'agriculteur concernant la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation ont un effet positif sur l'adoption de l'agriculture de conservation. Plus un agriculteur considère l'agriculture de conservation comme facile à mettre en œuvre plus il va l'adopter. Ce résultat n'est pas nouveau dans la littérature puisque (Abdulai, 2016) a obtenu des résultats similaires en Zambie. Ce résultat est aussi en parfait accord avec la théorie de Rogers qui prédit une diffusion plus lente des innovations complexes (Rogers, 2003) ou la théorie du comportement planifié qui considère la perception du contrôle sur le comportement comme un facteur clé de l'adoption d'un comportement (Ajzen, 1991). L'effet positif de la perception de la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation sur son adoption peut s'expliquer par la complexité de cette pratique par rapport au travail conventionnel du sol. En effet, l'agriculture de conservation est composée de trois principes agricoles interconnectés qui doivent être pleinement adoptés afin de tirer parti de tous les bénéfices associés à cette pratique.

Dans le chapitre 5, nous avons également démontré que le niveau d'éducation, plus précisément le niveau universitaire, a un effet positif sur l'adoption de l'agriculture de conservation. Cet effet positif, qui a

également été observé dans des études antérieures (Abdulai, 2016; D'Emden *et al.*, 2008; Ward *et al.*, 2018) peut s'expliquer par le fait que l'éducation accroît la capacité des agriculteurs à acquérir et à analyser les informations leur permettant de prendre les meilleures décisions en termes d'adoption de l'agriculture de conservation (Feder et Slade, 1984). Une autre raison de l'effet positif de l'éducation est liée au fait que l'AC est une pratique intensive en connaissances plutôt qu'une pratique intensive en intrants (Wall, 2007), ce qui signifie que le succès de l'AC dépendra principalement de la bonne gestion de la ferme plutôt que du niveau d'intrants utilisés par les agriculteurs (Wall, 2007). L'éducation peut alors accroître les compétences en gestion, ce qui peut aider les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles complexes telles que l'AC.

Enfin, nous avons aussi montré que ce sont les agriculteurs qui ont un emploi non-agricole qui ont tendance à avoir un niveau plus élevé d'adoption de l'agriculture de conservation. Bien que ce résultat soit en opposition avec les résultats obtenus par Manda *et al.* (2016) et par Ng'ombe *et al.* (2014), deux raisons probables peuvent expliquer l'effet positif de l'emploi non agricole sur l'adoption de l'agriculture de conservation. Tout d'abord, en tant que source de revenu, l'emploi peut contribuer à financer l'acquisition de machines nécessaires à la mise en œuvre de l'AC. Deuxièmement, les agriculteurs ayant un emploi non agricole auront tendance à adopter l'AC car c'est une pratique permettant de réduire la main-d'œuvre (AFD, 2006). Cette réduction de la main-d'œuvre est bien documentée dans la littérature. Par exemple, Król-Badziak *et al.* (2021) ont montré que le semis direct et le travail réduit du sol nécessitent moins de main-d'œuvre (7,47 et 9,52 heures/ha) que le labour conventionnel (10,80 heures/ha) pour la production de maïs en Pologne.

Au-delà des facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation identifiés dans cette thèse, nous pensons que les subventions à l'adoption de bonnes pratiques agricoles comme celles promues par le programme prime-vert et l'initiative ministérielle de rétributions des pratiques agroenvironnementales pourraient favoriser l'adoption de l'agriculture de conservation. Même si cette variable n'a pas été explicitement prise en compte dans les estimations, le nombre de producteurs (environ 1850) qui ont souscrit en à peine plus de 24 heures après l'ouverture des inscriptions à l'initiative ministérielle de rétributions des pratiques agroenvironnementales (Québec, 2023) témoigne de la place que peuvent jouer des incitatifs financiers dans l'adoption des pratiques agroenvironnementales comme l'agriculture de conservation. C'est pourquoi ces programmes doivent être maintenus et bonifiés afin de permettre à un plus grand nombre de producteurs d'adhérer. Ce soutien est d'autant plus nécessaire dans la mesure où l'agriculture de

conservation fournit de nombreux bénéfices écosystémiques à la société tout entière tels que la séquestration du carbone, la réduction de l'eutrophisation des cours d'eau, la réduction de l'érosion des sols et autres services et biens écosystémiques (Corbeels *et al.*, 2006; Scopel *et al.*, 2005; Vincent-Caboud *et al.*, 2017; Yadav *et al.*, 2018).

6.2 Limites et perspectives de la thèse

Cette thèse comporte quelques limites qui méritent d'être présentées ici.

- ❖ Tout d'abord, l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles n'a pas pris en compte le point de vue de toutes les parties prenantes, car certaines d'entre elles étaient absentes du groupe de discussion. Ce problème n'est pas unique dans la littérature, car les absences volontaires et involontaires des parties prenantes sont reconnues comme l'une des principales faiblesses de la participation des parties prenantes qui précède souvent l'analyse multicritère (Munda 2005). De plus, il est possible que les opinions des participants ayant assisté au groupe de discussion ne reflètent pas entièrement celles des parties prenantes qu'ils représentent. Il serait donc important dans des travaux futurs d'intégrer toutes les parties prenantes au processus d'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles.
- ❖ Deuxièmement, les performances des pratiques agricoles sur les différents indicateurs de durabilité ont été principalement fournies par des experts. Dans cette condition, les opinions des experts pourraient ne pas toujours correspondre aux performances réelles des pratiques agricoles sur le terrain. C'est pourquoi il est recommandé de mener davantage de recherches qui s'appuieront sur des données concrètes des performances des pratiques agricoles. Malgré cette limitation, il est à noter que l'utilisation des opinions d'experts est souvent nécessaire pour des évaluations rapides lorsque les données sont limitées. Le recours aux opinions des experts est une approche qui a été approuvée dans la littérature et est considérée comme une bonne alternative aux méthodes riches en données pour l'évaluation des performances des systèmes agricoles (Pashaei Kamali *et al.*, 2017). Cette approche a été privilégiée dans cette thèse en raison du manque de données.
- ❖ Troisièmement, la plupart des indicateurs de durabilité ont été mesurés en utilisant l'unité de surface dans cette étude, alors qu'il est de plus en plus recommandé d'utiliser une unité de masse

qui permet de prendre en compte l'intensité des cultures (Kirchmann *et al.*, 2016). De plus, des études antérieures ont également montré que le classement des pratiques agricoles peut différer selon que les performances sont mesurées en unités de surface ou en unités de masse (Afshar et Dekamin, 2022; Król-Badziak *et al.*, 2021; Viana *et al.*, 2022). Il serait donc intéressant, dans de futures recherches, de réévaluer les performances des pratiques agricoles en utilisant des unités de masse.

- ❖ Quatrièmement, la taille de l'échantillon est relativement faible dans cette thèse, ce qui limite la puissance des tests statistiques et la validité des résultats. Bien que 298 producteurs de maïs et soja aient participé au sondage, ce nombre a été réduit lors des analyses statistiques en raison des données manquantes et des questions mal remplies par les enquêtés. Il est important de rappeler que le sondage s'est déroulé en pleine pandémie de la Covid-19, un contexte qui aurait pu influencer le taux de participation des producteurs de maïs et soja. Cette faible taille de l'échantillon limite donc la généralisation des résultats à l'ensemble des agriculteurs québécois. C'est pourquoi des études supplémentaires doivent être menées afin d'améliorer nos connaissances sur la problématique de l'adoption de l'agriculture de conservation au Québec. Ces études doivent inclure un plus grand nombre de producteurs de maïs et soja et prendre en compte les variables permettant de saisir l'effet des différents programmes de subvention des pratiques agroenvironnementales dans l'analyse.

- ❖ Cinquièmement, dans cette thèse, nous avons calculé l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation en supposant des poids égalitaires pour les trois années d'observation (2018, 2019 et 2020). Des poids égalitaires supposent implicitement que les pratiques agricoles effectuées par un producteur en 2018, 2019 et 2020 contribuent de manière égalitaire à la durabilité du système agricole. Cependant, il est désormais établi que les bénéfices écosystémiques associés à l'adoption de l'agriculture de conservation augmentent avec le temps (Van Hulst et Posthumus, 2016; Wade et Claassen, 2017). De plus, certains bénéfices tels que l'accumulation de la matière organique et la réduction de la dégradation du sol sont susceptibles d'être perdus lorsque les agriculteurs alternent entre le non-labour et le labour du sol (Wade et Claassen, 2017). Au regard de ces éléments, il serait intéressant, dans des études futures, de déterminer les poids appropriés des différentes années d'une part, et de recalculer l'indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation en utilisant ces nouveaux poids.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'agriculture de conservation est apparue depuis quelques décennies comme une pratique alternative au travail conventionnel du sol pour limiter la dégradation des sols. Depuis son apparition dans les années 1970, les champs sous agriculture de conservation sont sans cesse croissants au fil des années, passant d'environ 106 millions d'hectares en 2008/2009 à plus de 205 millions d'hectares en 2018/2019 (Kassam *et al.*, 2022). Malgré cette croissance, le taux d'adoption de l'agriculture de conservation au niveau mondial reste encore marginal, estimé à environ 14,7 % en 2018/2019. En plus de cette faible adoption de l'agriculture de conservation, il existe encore de nombreuses zones d'ombre concernant la durabilité de l'agriculture de conservation, l'identification de ses adoptants et les facteurs d'adoption. L'objectif principal de cette thèse était donc d'analyser l'adoption et la durabilité de l'agriculture de conservation.

Pour atteindre cet objectif, nous avons d'abord évalué la durabilité de 36 pratiques agricoles dans les grandes cultures de maïs et soja afin d'identifier celles qui sont les plus durables. Plusieurs parties prenantes dont les experts, les organisations environnementales, la Financière Agricole du Québec (FADQ), les municipalités régionales de comté, les clubs conseils en agriculture, le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faunes et des Parcs (MELCCFP) et l'association des producteurs de grains du Québec ont été invitées au processus d'évaluation de la durabilité. Ces parties prenantes ont notamment contribué au choix des pratiques agricoles à évaluer, au choix et à la pondération des critères et indicateurs d'évaluation de la durabilité et enfin à l'évaluation de la performance des différentes pratiques agricoles sur l'ensemble des indicateurs de durabilité (uniquement les experts). À partir d'une méthode d'aide multicritère à la décision, nous avons identifié dans l'ordre décroissant les cinq pratiques agricoles suivantes comme étant les pratiques agricoles les plus durables parmi les 36 pratiques agricoles étudiées : 27-CA1 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant organique), 28-CA2 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant organique), 2-DMC2 (Semis direct + rotation des cultures+ plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique), 8-CA2 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture mortes + résidus agricoles + intrant chimique) et 7-CA1 (Travail réduit du sol + rotation des cultures + plantes de couverture vivantes + résidus agricoles + intrant chimique). Bien que ces cinq pratiques agricoles appartiennent toutes à la famille de l'agriculture de conservation, les deux meilleures pratiques (27-CA1 et 28-CA2) font partie de l'agriculture biologique. Le bon classement des pratiques 27-CA1 et 28-CA2 s'explique entre autres par leur non-utilisation

d'intrants chimiques de synthèse, leur capacité à créer des emplois, la qualité de leurs produits, la qualité de la cohabitation qu'elles permettent et l'état de santé mentale et physique de la communauté qu'elles favorisent. Ce bon classement s'explique aussi par leur plus grande marge bénéficiaire résultante elle-même de la prime qui est payée par les consommateurs pour les produits biologiques. Malgré la bonne performance des pratiques biologiques, leur mise en œuvre peut poser un défi opérationnel majeur, notamment concernant le contrôle des adventices. Étant donné que l'on ne peut ni utiliser les intrants chimiques de synthèse ni labourer le sol dans les pratiques 27-CA1 et 28-CA2, il est donc important que la recherche soit mise à contribution afin d'identifier des stratégies efficaces pour contrôler les adventices.

Nos résultats ont également montré que le rangement des trois meilleures pratiques agricoles est partagé par l'ensemble des parties prenantes à l'exception d'une organisation environnementale qui classe la pratique 2-DMC2 en deuxième position et la pratique 28-CA2 en troisième position. Ceci traduit ainsi la présence d'un consensus entre les différentes parties prenantes à l'évaluation.

Nous avons montré par la suite que les deux meilleures pratiques agricoles dans la dimension économique sont les pratiques agricoles 27-CA1 et 28-CA2 suivies respectivement des pratiques agricoles 8-CA2, 7-CA1 et 2-DMC2. Nos résultats ont montré également que les meilleures pratiques agricoles dans l'ordre décroissant sont respectivement dans la dimension environnementale 27-CA1, 2-DMC2, 28-CA2, 7-CA1 et 8-CA2; et dans la dimension sociale 28-CA2, 8-CA2, 2-DMC2, 27-CA1 et 7-CA1. Toutefois, il est important de souligner que l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles est basée sur le jugement des experts qui est une approche particulièrement recommandée pour une évaluation rapide des systèmes agricoles en l'absence de données probantes comme dans cette étude. C'est pour cette raison que nous recommandons de nouvelles études, cette fois-ci basées sur des données de terrain afin de confirmer ou infirmer les rangements de pratiques agricoles obtenus dans cette étude. Même si de nouvelles études sont nécessaires pour trancher définitivement sur le rangement des pratiques agricoles, notre étude recommande tout de même la promotion des pratiques agricoles basées sur les principes de l'agriculture de conservation pour atteindre la durabilité du secteur agricole.

Nous avons ensuite proposé dans cette thèse un nouvel indice composite de l'adoption de l'agriculture de conservation permettant de mesurer le niveau d'adoption de l'agriculture de conservation des producteurs de maïs et soja au Québec. À partir des données collectées auprès de 144 producteurs de maïs et soja québécois, le nouvel indice nous a permis de mettre en évidence que 77,1 %, 21,5 % et 1,4 %

des producteurs de maïs et soja sont respectivement des adoptants partiels, des adoptants complets et des non-adoptants de l'agriculture de conservation. L'indice a également permis de constater que 38,9 % des producteurs de maïs et soja québécois ont une certaine flexibilité dans l'adoption de l'agriculture de conservation. L'importance du nouvel indice proposé repose dans sa capacité à discriminer les agriculteurs en fonction de leur niveau d'adoption des principes de l'agriculture de conservation. Ainsi, notre indice peut s'avérer utile pour rétribuer équitablement les agriculteurs qui adoptent les bonnes pratiques agricoles en agriculture.

Nous avons enfin dans cette thèse analysé les facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation en utilisant notre nouvel indice comme mesure des niveaux d'adoption de l'agriculture de conservation des producteurs de maïs et soja québécois. Les résultats obtenus à partir d'un modèle Logit fractionnaire ont permis d'identifier globalement quatre facteurs d'adoption de l'agriculture de conservation au Québec à savoir l'éducation, la possession d'un emploi non agricole, les perceptions de l'agriculteur sur les rendements et la facilité de mise en œuvre de l'agriculture de conservation. Ainsi, les politiques favorisant un plus grand soutien technique aux agriculteurs doivent être encouragées afin d'accroître les taux d'adoption de l'agriculture de conservation au Québec.

ANNEXE A
LETTRE D'INVITATION ET FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉS
AUX PARTIES PRENANTES

I) LETTRE D'INVITATION DESTINÉE AUX PARTIES PRENANTES

Invitation à participer au projet :

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION : CAS DES PRODUCTEURS DE MAÏS ET
DE SOJA QUÉBÉCOIS

Chercheurs responsables du projet :

Marc Lucotte

Professeur, Département des sciences de la terre et de l'atmosphère.
Université du Québec à Montréal
Chercheur principal

Charles Séguin

Professeur, Département des sciences économiques
Université du Québec à Montréal
Encadreur

Jean-François Guay

Professeur-associé, Institut des Sciences de l'environnement
Université du Québec à Montréal
Coordonnateur régional en planification du territoire
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Co-encadreur

Guy Martial Takam Fongang

Doctorant en sciences de l'environnement
Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal

Madame, Monsieur,

Nous vous invitons à participer au projet de recherche mentionné en titre. Ce projet de recherche est le volet socio-économique du projet MYFROG ([*Maintaining high yields in field crops while reconsidering the option of using glyphosate*](#)) dont le but est d'analyser les pratiques alternatives de production de maïs et soja permettant de réduire l'usage du glyphosate tout en maintenant des rendements agricoles élevés. L'objectif du projet de recherche est de faire une analyse comparée de la durabilité agricole des pratiques agricoles utilisées dans les grandes cultures d'une part et de déterminer les facteurs qui motivent l'adoption des pratiques agricoles alternatives comme l'agriculture de conservation d'autre part.

PROCÉDURE(S) OU CONTRIBUTIONS DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Votre contribution consiste à participer à un groupe de discussion par vidéoconférence (Zoom) dont le thème central porte sur la durabilité des pratiques agricoles au Québec. Ainsi vous serez amené au cours de la discussion (i) à identifier les différentes pratiques agricoles observées dans les grandes cultures de maïs et soja, (ii) à sélectionner un ensemble de critères pertinents permettant d'évaluer la durabilité agricole des pratiques agricoles et (iii) à pondérer les critères sélectionnés. La discussion de groupe aura lieu au courant du mois de novembre et aura une durée maximale de 120 minutes. Vos interventions dans la discussion ainsi que celles des autres participants seront enregistrées pour faciliter la transcription et l'analyse des données. Un nombre de 15 participants au maximum sera invité pour le groupe de discussion. Pour être éligible au groupe de discussion, le participant doit être impliqué dans l'agrosystème québécois. Par conséquent, le participant doit provenir d'un des organismes suivants : le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faunes et des Parcs, une municipalité régionale de comté, les producteurs de maïs, les clubs conseils, l'agro-industrie, la financière agricole du Québec, les groupes environnementaux, l'union des consommateurs et la communauté scientifique.

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances scientifiques par une meilleure compréhension de la durabilité des pratiques agricoles d'une part, et des mécanismes dans la prise de décision en matière de pratiques agricoles d'autre part. Les conclusions de l'étude vous seront

communiquées et vous pourrez les considérer comme un outil supplémentaire parmi ceux que vous avez déjà vous permettant de prendre des décisions en lien avec vos activités en agriculture. Votre participation vous permettra également de bénéficier mutuellement des expériences des autres participants au groupe de discussion. Cette recherche offre aussi une tribune aux participants pour défendre les intérêts ou les missions des organismes auxquels ils appartiennent. Les résultats de cette recherche permettront de classer les pratiques agricoles en fonction de leur niveau de durabilité et d'identifier les pratiques agricoles les plus durables.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, mais vous pourriez ressentir une certaine incommodité à exprimer votre point de vue en public. Bien que tous les participants soient amenés à signer une clause de non-divulgence des échanges du groupe de discussion; nous ne sommes pas capables de garantir que ces derniers ne les divulgueront pas. Toutefois, sachez que votre participation est entièrement confidentielle et que votre nom n'apparaîtra dans aucun rapport d'étude, ceci afin d'assurer l'anonymat des participants. Vous pouvez également choisir de ne pas répondre à certaines questions qui vous occasionnent un inconfort et cela sans avoir à vous justifier. Vous pouvez également choisir d'arrêter de participer à la discussion et de vous retirer du groupe de discussion, et ce à tout moment pendant la durée de celui-ci.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les informations enregistrées lors de la discussion de groupe sont confidentielles. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès à cet enregistrement dont le seul but est de faciliter la transcription de la discussion. La transcription sera assurée uniquement par les collaborateurs à la recherche et l'étudiant effectuant le projet de doctorat afin de limiter les risques de fuite d'informations.

Afin de protéger l'identité des participants et assurer la confidentialité des données recueillies auprès d'eux, ces derniers seront toujours identifiés par un code alphanumérique. Le code alphanumérique numérote le questionnaire et la zone géographique du participant. Les codes seront sur un serveur et seulement le chercheur responsable pourra y accéder.

Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès au contenu des questionnaires et enregistrements des entretiens sur les

serveurs en ligne. De plus, les formulaires de consentement et les enregistrements seront effacés du serveur 5 ans après les dernières publications.

Pour toute question, n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse :
takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

Nous vous remercions de votre précieuse collaboration.

Recevez, Madame, Monsieur, nos plus cordiales salutations.

A handwritten signature in black ink on a light beige background. The signature is stylized and appears to be 'Takam Fongang'.

Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal
Tel.: (514) 999 7703
takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

II) FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉ AUX PARTIES PRENANTES



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION : CAS DES PRODUCTEURS DE MAÏS ET DE SOJA QUÉBÉCOIS.

PRÉAMBULE:

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche qui vise à mieux cerner les pratiques agricoles dans les grandes cultures de soja et de maïs. Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions en les envoyant à l'adresse de courriel indiquée plus bas.

IDENTIFICATION:

Chercheurs responsables du projet : **Marc Lucotte**, professeur, Département des sciences de la terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal.
Chercheur principal

Charles Séguin, professeur, Département des sciences économiques, Université du Québec à Montréal.
Encadreur

Jean-François Guay, professeur associé, Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal;
Coordonnateur régional en planification du territoire au Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Co-encadreur

Guy Martial Takam Fongang, Étudiant au doctorat en sciences de l'environnement, Institut des Sciences de l'Environnement, l'Université du Québec à Montréal

Tél : (514) 999 7703
Adresse postale : C.P. 8888, succursale Centre-ville
Montréal, Québec Canada H3C 3P8
Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

DESCRIPTION ET OBJECTIFS DU PROJET

Le projet de recherche est le volet socio-économique du gros projet MYFROG ([*Maintaining high yields in field crops while reconsidering the option of using glyphosate*](#)) dont l'objectif global est d'analyser les pratiques alternatives de production de maïs et soja permettant de réduire l'usage du glyphosate tout en maintenant des rendements agricoles élevés. Effectué en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le projet MYFROG a reçu un appui financier venant du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). L'objectif du projet de recherche est de faire une analyse comparée de la durabilité des pratiques agricoles utilisées dans les grandes cultures d'une part et de déterminer les facteurs qui motivent l'adoption des pratiques agricoles alternatives comme l'agriculture de conservation d'autre part.

PROCÉDURE(S) OU CONTRIBUTIONS DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Votre contribution consiste à participer à un groupe de discussion par vidéoconférence (Zoom) dont le thème central porte sur la durabilité des pratiques agricoles au Québec. Ainsi vous serez amené au cours de la discussion (i) à identifier les différentes pratiques agricoles observées dans les grandes cultures de maïs et soja, (ii) à sélectionner un ensemble de critères pertinents permettant d'évaluer la durabilité agricole des pratiques agricoles et (iii) à pondérer les critères sélectionnés. La discussion de groupe aura lieu au courant du mois de novembre 2020 et aura une durée maximale de 120 minutes. Vos interventions dans la discussion ainsi que celles des autres participants seront enregistrées pour faciliter la transcription et l'analyse des données. Un nombre de 15 participants au maximum sera invité pour le groupe de discussion.

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension de la durabilité des pratiques agricoles d'une part, et des mécanismes dans la prise de décision en matière de pratiques agricoles d'autre part. Les conclusions de l'étude vous seront communiquées et vous pourriez les considérer comme un outil supplémentaire parmi ceux que vous avez déjà vous permettant de prendre des décisions en lien avec vos activités en agriculture. Votre participation vous permettra également de bénéficier mutuellement des expériences des autres participants au groupe de discussion. Cette recherche offre aussi une tribune aux participants pour défendre les intérêts ou les missions des organismes auxquels

ils appartiennent. Les résultats de cette recherche permettront de classer les pratiques agricoles en fonction de leur niveau de durabilité et d'identifier les pratiques agricoles les plus durables.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, mais vous pourriez ressentir une certaine incommodité à exprimer votre point de vue en public. Bien que tous les participants soient amenés à signer une clause de non-divulgence des échanges du groupe de discussion; nous ne sommes pas capables de garantir que ces derniers ne les divulgueront pas. Toutefois, sachez que votre participation est entièrement confidentielle et que votre nom n'apparaîtra dans aucun rapport d'étude, ceci afin d'assurer l'anonymat des participants. Vous pouvez également choisir de ne pas répondre à certaines questions qui vous occasionnent un inconfort et cela sans avoir à vous justifier. Vous pouvez également choisir d'arrêter de participer à la discussion et de vous retirer du groupe de discussion, et ce à tout moment pendant la durée de celui-ci.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les informations enregistrées lors de la discussion de groupe sont confidentielles. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès à cet enregistrement dont le seul but est de faciliter la transcription de la discussion. La transcription sera assurée uniquement par les collaborateurs à la recherche et l'étudiant effectuant le projet de doctorat afin de limiter les risques de fuite d'informations.

Afin de protéger l'identité des participants et assurer la confidentialité des données recueillies auprès d'eux, ces derniers seront toujours identifiés par un code alphanumérique. Le code alphanumérique numérote le questionnaire et la zone géographique du participant. Les codes seront sur un serveur et seulement le chercheur responsable pourra y accéder.

Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès au contenu des questionnaires et enregistrements des entretiens sur les serveurs en ligne. De plus, les formulaires de consentement et les enregistrements seront effacés du serveur 5 ans après les dernières publications.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT :

- a. Votre participation à ce projet est totalement volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure.
- b. Vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.
- c. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE OU AUTRE :

Aucune compensation financière reliée à votre participation n'est prévue dans le cadre de ce projet.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ :

En acceptant de participer à ce projet, vous acceptez également de ne pas divulguer le nom des participants ou toute autre information pouvant identifier les participants de cette discussion de groupe.

RECHERCHES ULTÉRIEURES :

Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de cinq ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.

Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de la recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Guy Martial Takam Fongang, étudiant au doctorat en sciences de l'environnement à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université du Québec à Montréal, responsable de l'étude.

Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à CIEREH@UQAM.CA

REMERCIEMENTS :

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

CONSENTEMENT :

Par la présente,

Je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, je consens volontairement à participer à ce projet de recherche ;

Je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique ;

Je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ;

Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Prénom et nom du participant :

Date :

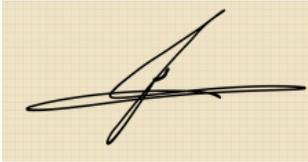
Courriel électronique :

Je soussigné, déclare:

- a) avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement et;
- b) avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Prénom et nom du chercheur responsable du projet: **Guy Martial Takam Fongang**

Signature électronique :

A handwritten signature in black ink on a light beige background. The signature is stylized, starting with a large, sweeping 'G' that loops back and ends with a horizontal stroke.

Coordonnées :

Institut des Sciences de l'Environnement

Université du Québec à Montréal

Tel.: (514) 999 7703

takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

ANNEXE B
LETTRE D'INVITATION ET FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉS
AUX EXPERTS

I) LETTRE D'INVITATION DESTINÉE AUX EXPERTS

Invitation à participer au projet :

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION : CAS DES PRODUCTEURS DE MAÏS ET
DE SOJA QUÉBÉCOIS

Chercheurs responsables du projet :

Marc Lucotte

Professeur, Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère.
Université du Québec à Montréal
Chercheur principal

Charles Séguin

Professeur, Département des sciences économiques
Université du Québec à Montréal
Encadreur

Jean-François Guay

Professeur-associé, Institut des Sciences de l'environnement
Université du Québec à Montréal
Coordonnateur régional en planification du territoire
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Co-encadreur

Guy Martial Takam Fongang

Doctorant en sciences de l'environnement
Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal

Madame, Monsieur,

Nous vous invitons à participer au projet de recherche mentionné en titre. Ce projet de recherche est le volet socio-économique du projet MYFROG ([*Maintaining high yields in field crops while reconsidering the option of using glyphosate*](#)) dont le but est d'analyser les pratiques de production de maïs et soja permettant de réduire l'usage du glyphosate tout en maintenant des rendements agricoles élevés. L'objectif du projet de recherche est de faire une analyse comparée de la durabilité des pratiques agricoles utilisées dans les grandes cultures d'une part et de déterminer les facteurs qui motivent l'adoption des pratiques agricoles alternatives comme l'agriculture de conservation d'autre part.

PROCÉDURE(S) OU CONTRIBUTIONS DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Votre contribution consiste à participer à un groupe de discussion par vidéoconférence (Zoom) dont le but est d'évaluer la durabilité des pratiques agricoles au Québec. Au cours de la discussion, vous serez amené en tant qu'expert à valider des critères d'évaluation de la durabilité agricole et à attribuer des notes aux différentes pratiques agricoles sur un ensemble de critères d'ordre économique, social et environnemental. Le groupe de discussion aura lieu au courant du mois de mai 2021 et aura une durée maximale de 120 minutes. Vos interventions dans la discussion ainsi que celles des autres participants seront enregistrées pour faciliter la transcription et l'analyse des données. Un nombre de 15 participants au maximum sera invité pour le groupe de discussion. Pour être éligible au groupe de discussion, le participant doit avoir à son actif des travaux de recherche ou des publications en relation avec l'agriculture. Le participant peut provenir de différents champs disciplinaires incluant entre autres l'économie agricole, l'agronomie, la toxicologie, la biologie, etc.

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension de la durabilité des pratiques agricoles d'une part, et des mécanismes dans la prise de décision en matière de pratiques agricoles d'autre part. Les conclusions de l'étude vous seront communiquées et vous pourrez les considérer comme une source d'information supplémentaire pour discuter ou soutenir vos résultats de recherche. Votre participation vous permettra également de bénéficier mutuellement des expériences de recherche des autres participants au groupe de discussion. Les résultats de cette recherche permettront

également de classer les pratiques agricoles en fonction de leur niveau de durabilité agricole et d'identifier les pratiques agricoles les plus durables.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, mais vous pourriez ressentir une certaine incommodité à exprimer votre point de vue en public. Bien que tous les participants soient amenés à signer une clause de non-divulgaration des échanges du groupe de discussion; nous ne sommes pas capables de garantir que ces derniers ne les divulgueront pas. Toutefois, sachez que votre participation est entièrement confidentielle et que votre nom n'apparaîtra dans aucun rapport d'étude, ceci afin d'assurer l'anonymat des participants. Vous pouvez également choisir de ne pas répondre à certaines questions qui vous occasionnent un inconfort et cela sans avoir à vous justifier. Vous pouvez également choisir d'arrêter de participer à la discussion et de vous retirer du groupe de discussion, et ce à tout moment pendant la durée de celui-ci.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les informations enregistrées lors du groupe de discussion sont confidentielles. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès à cet enregistrement dont le seul but est de faciliter la transcription de la discussion. La transcription sera assurée uniquement par les collaborateurs à la recherche et l'étudiant effectuant le projet de doctorat afin de limiter les risques de fuite d'informations.

Afin de protéger l'identité des participants et assurer la confidentialité des données recueillies auprès d'eux, ces derniers seront toujours identifiés par un code alphanumérique. Le code alphanumérique numérote le questionnaire et la zone géographique du participant. Les codes seront sur un serveur et seulement le chercheur responsable pourra y accéder.

Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès au contenu des questionnaires et enregistrements des entretiens sur les serveurs en ligne. De plus, les formulaires de consentement et les enregistrements seront effacés du serveur 5 ans après les dernières publications.

Pour toute question, n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

Nous vous remercions de votre précieuse collaboration.

Recevez, Madame, Monsieur, nos plus cordiales salutations.

A handwritten signature in black ink on a light beige background. The signature is stylized and appears to be 'Takam Fongang Guy Martial'.

Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal
Tel.: (514) 999 7703
takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

II) FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DESTINÉ AUX EXPERTS



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION : CAS DES PRODUCTEURS DE MAÏS ET DE SOJA QUÉBÉCOIS.

PRÉAMBULE:

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche qui vise à mieux cerner les pratiques agricoles dans les grandes cultures de soja et de maïs. Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions en les envoyant à l'adresse de courriel indiquée plus bas.

IDENTIFICATION:

Chercheurs responsables du projet : **Marc Lucotte**, professeur, Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal.
Chercheur principal

Charles Séguin, professeur, Département des sciences économiques, Université du Québec à Montréal.
Encadreur

Jean-François Guay, professeur associé, Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal;
Coordonnateur régional en planification du territoire au Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Co-encadreur

Guy Martial Takam Fongang, Étudiant au Doctorat en sciences de l'environnement, Institut des Sciences de l'Environnement, l'Université du Québec à Montréal

Tél : (514) 999 7703
Adresse postale : C.P. 8888, succursale Centre-ville
Montréal, Québec Canada H3C 3P8
Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

DESCRIPTION ET OBJECTIFS DU PROJET

Le projet de recherche est le volet socio-économique du gros projet MYFROG ([*Maintaining high yields in field crops while reconsidering the option of using glyphosate*](#)) dont l'objectif global est d'analyser les pratiques alternatives de production de maïs et soja permettant de réduire l'usage du glyphosate tout en maintenant des rendements agricoles élevés. Effectué en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le projet MYFROG a reçu un appui financier venant du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). L'objectif du projet de recherche est de faire une analyse comparée de la durabilité des pratiques agricoles utilisées dans les grandes cultures d'une part et de déterminer les facteurs qui motivent l'adoption des pratiques agricoles alternatives comme l'agriculture de conservation d'autre part.

PROCÉDURE(S) OU CONTRIBUTIONS DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Votre contribution consiste à participer à un groupe de discussion par vidéoconférence (Zoom) dont le but est d'évaluer la durabilité des pratiques agricoles au Québec. Au cours de la discussion, vous serez amené en tant qu'expert à valider des critères d'évaluation de la durabilité agricole et à attribuer des notes aux différentes pratiques agricoles sur un ensemble de critères d'ordre économique, social et environnemental. Le groupe de discussion aura lieu au courant du mois de mai 2021 et aura une durée maximale de 120 minutes. Vos interventions dans la discussion ainsi que celles des autres participants seront enregistrées pour faciliter la transcription et l'analyse des données. Un nombre de 15 participants au maximum sera invité pour le groupe de discussion. Pour être éligible au groupe de discussion, le participant doit avoir à son actif des travaux de recherche ou des publications en relation avec l'agriculture. Le participant peut provenir de différents champs disciplinaires incluant entre autres l'économie agricole, l'agronomie, la toxicologie, la biologie, etc.

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension de la durabilité des pratiques agricoles d'une part, et des mécanismes dans la prise de décision en matière de pratiques agricoles d'autre part. Les conclusions de l'étude vous seront communiquées et vous pourrez les considérer comme une source d'information supplémentaire pour discuter ou soutenir vos résultats de recherche future. Votre participation vous permettra également de bénéficier mutuellement des

expériences de recherche des autres participants au groupe de discussion. Les résultats de cette recherche permettront également de classer les pratiques agricoles en fonction de leur niveau de durabilité et d'identifier les pratiques agricoles les plus durables.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, mais vous pourriez ressentir une certaine incommodité à exprimer votre point de vue en public. Bien que tous les participants soient amenés à signer une clause de non-divulgence des échanges du groupe de discussion; nous ne sommes pas capables de garantir que ces derniers ne les divulgueront pas. Toutefois, sachez que votre participation est entièrement confidentielle et que votre nom n'apparaîtra dans aucun rapport d'étude, ceci afin d'assurer l'anonymat des participants. Vous pouvez également choisir de ne pas répondre à certaines questions qui vous occasionnent un inconfort et cela sans avoir à vous justifier. Vous pouvez également choisir d'arrêter de participer à la discussion et de vous retirer du groupe de discussion, et ce à tout moment pendant la durée de celle-ci.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les informations enregistrées lors du groupe de discussion sont confidentielles. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès à cet enregistrement dont le seul but est de faciliter la transcription de la discussion. La transcription sera assurée uniquement par les collaborateurs à la recherche et l'étudiant effectuant le projet de doctorat afin de limiter les risques de fuite d'informations.

Afin de protéger l'identité des participants et assurer la confidentialité des données recueillies auprès d'eux, ces derniers seront toujours identifiés par un code alphanumérique. Le code alphanumérique numérote le questionnaire et la zone géographique du participant. Les codes seront sur un serveur et seulement le chercheur responsable pourra y accéder.

Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs à la recherche auront accès au contenu des questionnaires et enregistrements des entretiens sur les serveurs en ligne. De plus, les formulaires de consentement et les enregistrements seront effacés du serveur 5 ans après les dernières publications.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT :

- d. Votre participation à ce projet est totalement volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure.
- e. Vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.
- f. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE OU AUTRE :

Aucune compensation financière reliée à votre participation n'est prévue dans le cadre de ce projet.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ :

En acceptant de participer à ce projet, vous acceptez également de ne pas divulguer le nom des participants ou toute autre information pouvant identifier les participants de ce groupe de discussion.

RECHERCHES ULTÉRIEURES :

Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de cinq ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

- J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.
- Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS ?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de la recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Guy Martial Takam Fongang, étudiant au doctorat en sciences de l'environnement à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université du Québec à Montréal, responsable de l'étude.

Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

Le comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à CIEREH@UQAM.CA

REMERCIEMENTS :

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

CONSENTEMENT :

- Par la présente, je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, je consens volontairement à participer à ce projet de recherche ;
je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique ;
je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ;
je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Prénom et nom du participant :

Date :

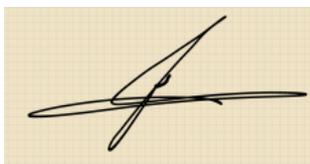
Courriel électronique :

Je soussigné, déclare:

- c) avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement et;
- d) avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Prénom et nom du chercheur responsable du projet: **Guy Martial Takam Fongang**

Signature électronique :

A handwritten signature in black ink on a light beige background. The signature is stylized, starting with a large, sweeping 'G' that loops back and underlines the rest of the name.

Coordonnées :

Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal
Tel : (514) 999 7703
takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

ANNEXE C

DEFINITIONS OF PILLARS OF AGRICULTURAL PRACTICES

Pillars	Definitions
Direct seeding	Technique allowing the establishment of crops without tillage. This technique involves keeping crop residues on the ground as much as possible (CPVQ, 2000).
Reduced tillage	Less intensive tillage than conventional tillage involving partial incorporation of crop residues (at least 30% of residues must be kept on the ground) (CPVQ, 2000).
Conventional tillage	Any system that aims to incorporate into the soil most of the crop residues leaving less than 30% of the crop residues on the ground (CPVQ, 2000).
Dead cover crop	Plant or mixture of cover plants sown after or during the growth of the main crop and whose main objective is to cover the ground. It will either be destroyed by the winter to form mulch, or eliminated in the spring by rolling or burning by a herbicide before or after sowing the main crop (Action Semis Direct, 2011).
Living cover crop	Plant or mixture of cover plants sown after or during the growth of the main crop whose the aerial is mowed or desiccated by a contact herbicide in order to slow down its growth, with the aim of permanently maintaining a living root system in the ground (AFD, 2006).
Crop rotation	Alternation of crops in a given field and according to a planned sequence, during successive agricultural campaigns, so that plants of the same species or family are not continuously grown in the same field. Crop rotation will be considered here if it involves at least three crops (ONGC, 2020).
Crop monoculture	Cultivation of plants of the same species in a given plot during successive agricultural campaigns.
Chemical input	The chemical input includes both chemical fertilizers and pesticides.
Organic input	Agricultural input coming from the transformation of plant and animal that farmers use for improving the crop potential production (Faure <i>et al.</i> , 2018).

ANNEXE D

GUIDE D'ENTRETIEN ET QUESTIONNAIRE DESTINÉS AUX PARTIES PRENANTES

I) GUIDE D'ENTRETIEN POUR LES PARTIES PRENANTES

Thème 1 : Description des pratiques agricoles québécoises

1. Quels sont les principaux enjeux de la culture de maïs et soja au Québec ?
2. Quelles sont les pratiques agricoles que vous reconnaissez ? Partagez avec les participants la fiche détaillée des différentes pratiques agricoles.
3. Quelles autres pratiques agricoles connaissez-vous ? (Partage d'écran -tableau blanc)

Thème 2 : Détermination des critères d'évaluation

4. On veut maintenant faire une évaluation de la durabilité des pratiques agricoles identifiées plus haut. Pour ce faire, nous avons identifié un ensemble de critères/indicateurs d'évaluation. (Partagez avec les participants la fiche détaillée des différents critères/indicateurs) Ces critères vous semblent-ils pertinents pour évaluer les pratiques agricoles? Pourquoi ?
5. Quels autres critères peuvent être ajoutés ou retranchés ? (Partage d'écran -tableau blanc). Présentation du questionnaire de suivi aux participants et invitation à le remplir à la suite du groupe de discussion (partage d'écran).

II) QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX PARTIES PRENANTES

PARTIE A : INFORMATION ET CONSENTEMENT

Vous pouvez sauvegarder vos réponses à tout moment et revenir terminer le sondage plus tard en cliquant sur le bouton « Finir plus tard » situé en haut à votre droite.

Les questions contenues dans cette section visent à collecter votre consentement à participer à cette étude.

1) Acceptez-vous de participer à ce projet de recherche? En répondant oui à cette question,

- Vous reconnaissez avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
 - vous consentez volontairement à participer à ce projet de recherche;
 - vous comprenez les objectifs du projet de recherche et ce que votre participation implique;
 - vous comprenez que votre participation à cette recherche est totalement volontaire et que vous pouvez y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.
- ❖ Oui, j'accepte de participer au projet de recherche.
- ❖ Non, je refuse de participer au projet de recherche.

2) Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de cinq ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

- ❖ J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.
- ❖ Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.

3) Veuillez inscrire votre courriel si vous êtes intéressé(e) à recevoir les conclusions de l'étude.
Votre courriel :

4) Quelle unité de mesure de surface préférez-vous entre l'acre et l'hectare ?

Réponse : 1-Acre 2-Hectare

*Si vous préférez l'acre, les questions impliquant les mesures de surface vous seront posées en acre.
Ces questions vous seront posées plutôt en hectare si vous préférez l'hectare.*

Partie B : DÉTERMINATION DU POIDS DES ENJEUX ET DES CRITÈRES DE LA DURABILITÉ

Cette section vise à déterminer les poids des différents enjeux et critères d'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles. Les poids seront déterminés en utilisant une comparaison par paire de critères ou d'enjeux. Le tableau ci-dessous donne un aperçu global de l'ensemble des critères et enjeux associés aux trois dimensions de la durabilité agricole.

« Répondez aux questions au meilleur de vos connaissances de la durabilité des pratiques agricoles en grandes cultures ».

Tableau 1 : Indicateurs de durabilité

Préoccupations	Enjeux	Critères	Indicateurs	Unités	Max/Min
Environnement	Contribution au changement climatique	Émission nette de GES du sol	Équivalent CO2 net émis par hectare	tonne / ha	Min
		Émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants)	Équivalent CO2 émis par les intrants agricoles par hectare	tonne / ha	Min
	Préservation des sols	Érosion des sols	Volume de sol perdu	tonne/ha/an	Min
	Santé des sols	Qualité physique du sol	Densité du sol	g/cm ³	Min
		Qualité chimique du sol	Quantité d'azote utilisée	kg N/ha	Min
			Quantité de phosphore utilisée	kg P/ha	Min
		Quantité de matière organique	g/kg de sol	Max	
	Ressources hydriques	Offre adéquate en eau des sols	Teneur en eau du sol	Pourcentage	Max
	Préservation de la biodiversité	Biodiversité végétale	Nombre d'espèces plantées (culture commerciale + plante de couverture + plante des bandes riveraines ou plante de haie brise vent)	Nombre d'espèces	Max
		Biodiversité du sol	Indice d'équilibre des espèces	Pourcentage	Max
Biodiversité animale		Nombre d'espèces animales au champ	Nombre d'espèces	Max	
Dépense énergétique	Consommation d'énergie	Bilan énergétique (l'énergie contenue dans l'output moins l'énergie incorporée dans les intrants agricoles moins l'énergie consommée par l'activité agricole)	kcal/ha	Max	
Santé des écosystèmes	Écotoxicité de l'agriculture	Indice de risque pour l'environnement (IRPeQ-E)	Nombre entier	Min	
Économie	profitabilité	Revenu agricole	Marge bénéficiaire brute (vente moins les coûts variables)	\$/ha	Max
		Contribution de l'agriculture au PIB	Revenu de l'activité agricole moins les subventions	\$/ha	Max

Social	Bien-être de la communauté agricole	Emplois créés	Nombre d'emplois agricoles générés par la pratique agricole.	Nombre entier	Max
		Santé mentale de la communauté agricole	Nombre d'appels sur les lignes d'aide ou nombre de consultations auprès de travailleurs de rang	Nombre entier	Min
		Santé physique de la communauté agricole	Indice de risque pour la santé (IRPeQ-S)	Nombre entier	Min
	Acceptabilité sociale	Qualité du produit de la récolte	Présence de résidus de pesticides dans le produit récolté	Microgrammes	Min
		Qualité de la cohabitation rurale-urbaine	Nombre de conflits de cohabitation ou nombre de plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides	Nombre entier	Min
	Production agricole	Capacité à satisfaire la demande en nourriture élevée	Rendement	tonne/ha	Max

5) Quelle dimension entre les dimensions *économique et sociale* est plus importante pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - La dimension économique est extrêmement plus importante que la dimension sociale.
B	8-
C	7 - La dimension économique est très fortement plus importante que la dimension sociale.
D	6-
E	5 - La dimension économique est fortement plus importante que la dimension sociale.
F	4-
G	3 - La dimension économique est modérément plus importante que la dimension sociale.
H	2-
I	1 - Les dimensions économique et sociale sont de même importance.
J	2-
K	3 - La dimension sociale est modérément plus importante que la dimension économique.
M	4-
N	5 - La dimension sociale est fortement plus importante que la dimension économique.
O	6-
P	7 - La dimension sociale est très fortement plus importante que la dimension économique.
Q	8-
R	9 - La dimension sociale est extrêmement plus importante que la dimension économique.

6) Quelle dimension entre les dimensions *économique et environnementale* est plus importante pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - La dimension économique est extrêmement plus importante que la dimension environnementale.
B	8-
C	7 - La dimension économique est très fortement plus importante que la dimension environnementale.
D	6-
E	5 - La dimension économique est fortement plus importante que la dimension environnementale.
F	4-
G	3 - La dimension économique est modérément plus importante que la dimension environnementale.
H	2-
I	1 - Les dimensions économique et environnementale sont de même importance.
J	2-
K	3 - La dimension environnementale est modérément plus importante que la dimension économique.
M	4-
N	5 - La dimension environnementale est fortement plus importante que la dimension

	économique.
O	6-
P	7 - La dimension environnementale est très fortement plus importante que la dimension économique.
Q	8-
R	9 - La dimension environnementale est extrêmement plus importante que la dimension économique.

7) Quelle dimension entre les dimensions *sociale et environnementale* de la durabilité est plus importante pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - La dimension sociale est extrêmement plus importante que la dimension environnementale.
B	8-
C	7 - La dimension sociale est très fortement plus importante que la dimension environnementale.
D	6-
E	5 - La dimension sociale est fortement plus importante que la dimension environnementale.
F	4-
G	3 - La dimension sociale est modérément plus importante que la dimension environnementale.
H	2-
I	1 - Les dimensions sociale et environnementale sont de même importance.
J	2-
K	3 - La dimension environnementale est modérément plus importante que la dimension sociale.
M	4-
N	5 - La dimension environnementale est fortement plus importante que la dimension sociale.
O	6-
P	7 - La dimension environnementale est très fortement plus importante que la dimension sociale.
Q	8-
R	9 - La dimension environnementale est extrêmement plus importante que la dimension sociale.

8) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique et préservation des sols* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
D	6-

E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et préservation des sols sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

9) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique* et *santé des sols* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2,4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
D	6-
E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et santé des sols sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

M	4-
N	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

10) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique* et *ressource hydrique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
D	6-
E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu ressource hydrique environnementale.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et ressource hydrique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu ressource hydrique est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
M	4-
N	5 - L'enjeu ressource hydrique est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu ressource hydrique est très fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-

R	9 - L'enjeu ressource hydrique est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
---	--

11) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique* et *préservation de la biodiversité* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
D	6-
E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et préservation de la biodiversité sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus importante que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

12) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique* et *dépense énergétique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
D	6-
E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et dépense énergétique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
M	4-
N	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus importante que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

13) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation des sols et dépense énergétique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
F	4-

G	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation des sols et dépense énergétique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.

14) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation des sols et santé des sols* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
F	4-
G	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation des sols et santé des sols sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
O	6-

P	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.

15) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation des sols et ressource hydrique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
F	4-
G	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu ressource hydrique.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation des sols et ressource hydrique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu ressource hydrique est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu ressource hydrique est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu ressource hydrique est très fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu ressource hydrique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.

16) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation des sols et préservation de la biodiversité* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
F	4-
G	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation des sols et préservation de la biodiversité sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.

17) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *santé des sols et préservation de la biodiversité* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
B	8-
C	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
D	6-
E	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.

F	4-
G	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
H	2-
I	1 - Les enjeux santé des sols et préservation de la biodiversité sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.

18) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *santé des sols et ressource hydrique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
B	8-
C	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
D	6-
E	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
F	4-
G	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu ressource hydrique.
H	2-
I	1 - Les enjeux santé des sols et ressource hydrique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu ressource hydrique est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu ressource hydrique est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.

O	6-
P	7 - L'enjeu ressource hydrique est très fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu ressource hydrique est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.

19) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *santé des sols et dépense énergétique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
B	8-
C	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
D	6-
E	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
F	4-
G	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
H	2-
I	1 - Les enjeux santé des sols et dépense énergétique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.

20) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *ressource hydrique et dépense énergétique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu ressource hydrique est extrêmement plus important que l'enjeu dépense
---	---

	énergétique.
B	8-
C	7 - L'enjeu ressource hydrique est très fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
D	6-
E	5 - L'enjeu ressource hydrique est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
F	4-
G	3 - L'enjeu ressource hydrique est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
H	2-
I	1 - Les enjeux ressource hydrique et dépense énergétique sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu ressource hydrique.
M	4-
N	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
O	6-
P	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu ressource hydrique.

21) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *ressource hydrique et préservation de la biodiversité* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu ressource hydrique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
B	8-
C	7 - L'enjeu ressource hydrique est très fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
D	6-
E	5 - L'enjeu ressource hydrique est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
F	4-
G	3 - L'enjeu ressource hydrique est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.

H	2-
I	1 - Les enjeux ressource hydrique et préservation de la biodiversité sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu ressource hydrique.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
O	6-
P	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus important que l'enjeu ressource hydrique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu ressource hydrique.

22) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *dépense énergétique et préservation de la biodiversité* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
B	8-
C	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
D	6-
E	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
F	4-
G	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
H	2-
I	1 - Les enjeux dépense énergétique et préservation de la biodiversité sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
M	4-
N	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.

O	6-
P	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu dépense énergétique.

23) Quel enjeu social entre les enjeux *bien-être de la communauté agricole et acceptabilité sociale* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est extrêmement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
B	8-
C	7 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est très fortement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
D	6-
E	5 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est fortement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
F	4-
G	3 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est modérément plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
H	2-
I	1 - Les enjeux bien-être de la communauté agricole et acceptabilité sociale sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu acceptabilité sociale est modérément plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
M	4-
N	5 - L'enjeu acceptabilité sociale est fortement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
O	6-
P	7 - L'enjeu acceptabilité sociale est très fortement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
Q	8-
R	9 - L'enjeu acceptabilité sociale est extrêmement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.

24) Quel enjeu social entre les enjeux *bien-être de la communauté agricole et production agricole* est

plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est extrêmement plus important que l'enjeu production agricole.
B	8-
C	7 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est très fortement plus important que l'enjeu production agricole.
D	6-
E	5 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est fortement plus important que l'enjeu production agricole.
F	4-
G	3 - L'enjeu bien-être de la communauté agricole est modérément plus important que l'enjeu production agricole.
H	2-
I	1 - Les enjeux bien-être de la communauté agricole et production agricole sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu production agricole est modérément plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
M	4-
N	5 - L'enjeu production agricole est fortement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
O	6-
P	7 - L'enjeu production agricole est très fortement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.
Q	8-
R	9 - L'enjeu production agricole est extrêmement plus important que l'enjeu bien-être de la communauté agricole.

25) Quel enjeu social entre les enjeux *acceptabilité sociale et production agricole* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu acceptabilité sociale est extrêmement plus important que l'enjeu production agricole.
B	8-
C	7 - L'enjeu acceptabilité sociale est très fortement plus important que l'enjeu production agricole.

D	6-
E	5 - L'enjeu acceptabilité sociale est fortement plus important que l'enjeu production agricole.
F	4-
G	3 - L'enjeu acceptabilité sociale est modérément plus important que l'enjeu production agricole.
H	2-
I	1 - Les enjeux acceptabilité sociale et production agricole sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu production agricole est modérément plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
M	4-
N	5 - L'enjeu production agricole est fortement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
O	6-
P	7 - L'enjeu production agricole est très fortement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.
Q	8-
R	9 - L'enjeu production agricole est extrêmement plus important que l'enjeu acceptabilité sociale.

26) Quel critère entre les critères *qualité physique du sol* et *qualité chimique du sol* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère qualité physique du sol est extrêmement plus important que le critère qualité chimique du sol.
B	8-
C	7 - Le critère qualité physique du sol est très fortement plus important que le critère qualité chimique du sol.
D	6-
E	5 - Le critère qualité physique du sol est fortement plus important que le critère qualité chimique du sol.
F	4-
G	3 - Le critère qualité physique du sol est modérément plus important que le critère qualité chimique du sol.
H	2-
I	1 - Les critères qualité physique du sol et qualité chimique du sol sont de même importance.
J	2-

K	3 - Le critère qualité chimique du sol est modérément plus important que le critère qualité physique du sol.
M	4-
N	5 - Le critère qualité chimique du sol est fortement plus important que le critère qualité physique du sol.
O	6-
P	7 - Le critère qualité chimique du sol est très fortement plus important que le critère qualité physique du sol.
Q	8-
R	9 - Le critère qualité chimique du sol est extrêmement plus important que le critère qualité physique du sol.

27) Quel critère entre les critères *revenu agricole et contribution de l'agriculture au produit intérieur brut (PIB)* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère revenu agricole est extrêmement plus important que le critère contribution de l'agriculture au PIB.
B	8-
C	7 - Le critère revenu agricole est très fortement plus important que le critère contribution de l'agriculture au PIB.
D	6-
E	5 - Le critère revenu agricole est fortement plus important que le critère contribution de l'agriculture au PIB.
F	4-
G	3 - Le critère revenu agricole est modérément plus important que le critère contribution de l'agriculture au PIB.
H	2-
I	1 - Les critères revenu agricole et contribution de l'agriculture au PIB sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère contribution de l'agriculture au PIB est modérément plus important que le critère revenu agricole.
M	4-
N	5 - Le critère contribution de l'agriculture au PIB est fortement plus important que le critère revenu agricole.
O	6-
P	7 - Le critère contribution de l'agriculture au PIB est très fortement plus important que le critère revenu agricole.
Q	8-

R	9 - Le critère contribution de l'agriculture au PIB est extrêmement plus important que le critère revenu agricole.
---	--

28) Quel critère entre les critères *emplois créés et santé mentale de la communauté agricole* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère emplois créés est extrêmement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
B	8-
C	7 - Le critère emplois créés est très fortement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
D	6-
E	5 - Le critère emplois créés est fortement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
F	4-
G	3 - Le critère emplois créés est modérément plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
H	2-
I	1 - Les critères emplois créés et santé mentale de la communauté agricole sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est modérément plus important que le critère emplois créés.
M	4-
N	5 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est fortement plus important que le critère emplois créés.
O	6-
P	7 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est très fortement plus important que le critère emplois créés.
Q	8-
R	9 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est extrêmement plus important que le critère emplois créés.

29) Quel critère entre les critères *qualité du produit de la récolte et qualité de la cohabitation rurale-urbaine* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère qualité du produit de la récolte est extrêmement plus important que le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine.
B	8-
C	7 - Le critère qualité du produit de la récolte est très fortement plus important que le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine.
D	6-
E	5 - Le critère qualité du produit de la récolte est fortement plus important que le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine.
F	4-
G	3 - Le critère qualité du produit de la récolte est modérément plus important que le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine.
H	2-
I	1 - Les critères qualité du produit de la récolte et qualité de la cohabitation rurale-urbaine sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine est modérément plus important que le critère qualité du produit de la récolte.
M	4-
N	5 - Le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine est fortement plus important que le critère qualité du produit de la récolte.
O	6-
P	7 - Le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine est très fortement plus important que le critère qualité du produit de la récolte.
Q	8-
R	9 - Le critère qualité de la cohabitation rurale-urbaine est extrêmement plus important que le critère qualité du produit de la récolte.

30) Quel critère entre les critères *quantité d'azote utilisé* et *quantité de phosphore utilisé* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère quantité de phosphore utilisé est extrêmement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
B	8-
C	7 - Le critère quantité de phosphore utilisé est très fortement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
D	6-
E	5 - Le critère quantité de phosphore utilisé est fortement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.

F	4-
G	3 - Le critère quantité de phosphore utilisé est modérément plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
H	2-
I	1 - Les critères quantité de phosphore utilisé et quantité d'azote utilisé sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère quantité d'azote utilisé est modérément plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
M	4-
N	5 - Le critère quantité d'azote utilisé est fortement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
O	6-
P	7 - Le critère quantité d'azote utilisé est très fortement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé
Q	8-
R	9 - Le critère quantité d'azote utilisé est extrêmement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.

31) Quel critère entre les critères *quantité d'azote utilisé* et *quantité de matière organique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère quantité de matière organique est extrêmement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
B	8-
C	7 - Le critère quantité de matière organique est très fortement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
D	6-
E	5 - Le critère quantité de matière organique est fortement plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
F	4-
G	3 - Le critère quantité de matière organique est modérément plus important que le critère quantité d'azote utilisé.
H	2-
I	1 - Les critères quantité de matière organique et quantité d'azote utilisé sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère quantité d'azote utilisé est modérément plus important que le critère quantité

	de matière organique.
M	4-
N	5 - Le critère quantité d'azote utilisé est fortement plus important que le critère quantité de matière organique.
O	6-
P	7 - Le critère quantité d'azote utilisé est très fortement plus important que le critère quantité de matière organique.
Q	8-
R	9 - Le critère quantité d'azote utilisé est extrêmement plus important que le critère quantité de matière organique.

32) Quel critère entre les critères *quantité de phosphore utilisé* et *quantité de matière organique* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère quantité de matière organique est extrêmement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
B	8-
C	7 - Le critère quantité de matière organique est très fortement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
D	6-
E	5 - Le critère quantité de matière organique est fortement plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
F	4-
G	3 - Le critère quantité de matière organique est modérément plus important que le critère quantité de phosphore utilisé.
H	2-
I	1 - Les critères quantité de matière organique et quantité de phosphore utilisé sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère quantité de phosphore utilisé est modérément plus important que le critère quantité de matière organique.
M	4-
N	5 - Le critère quantité de phosphore utilisé est fortement plus important que le critère quantité de matière organique.
O	6-
P	7 - Le critère quantité de phosphore utilisé est très fortement plus important que le critère quantité de matière organique.
Q	8-

R	9 - Le critère quantité de phosphore utilisé est extrêmement plus important que le critère quantité de matière organique.
---	---

33) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *contribution au changement climatique et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu contribution au changement climatique est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu contribution au changement climatique est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu contribution au changement climatique est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu contribution au changement climatique est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
H	2-
I	1 - Les enjeux contribution au changement climatique et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu contribution au changement climatique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu contribution au changement climatique.

34) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation des sols et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation des sols est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation des sols est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation des sols est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu préservation des sols est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation des sols et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu préservation des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu préservation des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu préservation des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu préservation des sols.

35) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *santé des sols et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu santé des sols est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu santé des sols est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu santé des sols est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu santé des sols est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.

H	2-
I	1 - Les enjeux santé des sols et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu santé des sols.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu santé des sols.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu santé des sols.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu santé des sols.

36) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *ressources hydriques et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu ressources hydriques est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu ressources hydriques est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu ressources hydriques est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu ressources hydriques est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
H	2-
I	1 - Les enjeux ressources hydriques et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu ressources hydriques.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu ressources hydriques.
O	6-

P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu ressources hydriques.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu ressources hydriques.

37) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *préservation de la biodiversité et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu préservation de la biodiversité est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu préservation de la biodiversité est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu préservation de la biodiversité est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu préservation de la biodiversité est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
H	2-
I	1 - Les enjeux préservation de la biodiversité et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu préservation de la biodiversité.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu préservation de la biodiversité.

38) Quel enjeu environnemental entre les enjeux *dépense énergétique et santé des écosystèmes* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8

correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - L'enjeu dépense énergétique est extrêmement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
B	8-
C	7 - L'enjeu dépense énergétique est très fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
D	6-
E	5 - L'enjeu dépense énergétique est fortement plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
F	4-
G	3 - L'enjeu dépense énergétique est modérément plus important que l'enjeu santé des écosystèmes.
H	2-
I	1 - Les enjeux dépense énergétique et santé des écosystèmes sont de même importance.
J	2-
K	3 - L'enjeu santé des écosystèmes est modérément plus important que l'enjeu dépense énergétique.
M	4-
N	5 - L'enjeu santé des écosystèmes est fortement plus important que l'enjeu dépense énergétique.
O	6-
P	7 - L'enjeu santé des écosystèmes est très fortement plus importante que l'enjeu dépense énergétique.
Q	8-
R	9 - L'enjeu santé des écosystèmes est extrêmement plus important que l'enjeu dépense énergétique.

39) Quel critère entre les critères *émission nette de GES du sol et émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants)* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère émission nette de GES du sol est extrêmement plus important que le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants).
B	8-
C	7 - Le critère émission nette de GES du sol est très fortement plus important que le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants).
D	6-

E	5 - Le critère émission nette de GES du sol est fortement plus important que le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants).
F	4-
G	3 - Le critère émission nette de GES du sol est modérément plus important que le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants).
H	2-
I	1 - Les critères émission nette de GES du sol et émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants) sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants) est modérément plus important que le critère émission nette de GES du sol.
M	4-
N	5 - Le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants) est fortement plus important que le critère émission nette de GES du sol.
O	6-
P	7 - Le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants) est très fortement plus important que le critère émission nette de GES du sol.
Q	8-
R	9 - Le critère émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants) est extrêmement plus important que le critère émission nette de GES du sol.

40) Quel critère entre les critères *biodiversité végétale* et *biodiversité du sol* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère biodiversité végétale est extrêmement plus important que le critère biodiversité du sol.
B	8-
C	7 - Le critère biodiversité végétale est très fortement plus important que le critère biodiversité du sol.
D	6-
E	5 - Le critère biodiversité végétale est fortement plus important que le critère biodiversité du sol.
F	4-
G	3 - Le critère biodiversité végétale est modérément plus important que le critère biodiversité du sol.
H	2-
I	1 - Les critères biodiversité végétale et biodiversité du sol sont de même importance.
J	2-

K	3 - Le critère biodiversité du sol est modérément plus important que le critère biodiversité végétale.
M	4-
N	5 - Le critère biodiversité du sol est fortement plus important que le critère biodiversité végétale.
O	6-
P	7 - Le critère biodiversité du sol est très fortement plus important que le critère biodiversité végétale.
Q	8-
R	9 - Le critère biodiversité du sol est extrêmement plus important que le critère biodiversité végétale.

41) Quel critère entre les critères *biodiversité végétale* et *biodiversité animale* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère biodiversité végétale est extrêmement plus important que le critère biodiversité animale.
B	8-
C	7 - Le critère biodiversité végétale est très fortement plus important que le critère biodiversité animale.
D	6-
E	5 - Le critère biodiversité végétale est fortement plus important que le critère biodiversité animale.
F	4-
G	3 - Le critère biodiversité végétale est modérément plus important que le critère biodiversité animale.
H	2-
I	1 - Les critères biodiversité végétale et biodiversité animale sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère biodiversité animale est modérément plus important que le critère biodiversité végétale.
M	4-
N	5 - Le critère biodiversité animale est fortement plus important que le critère biodiversité végétale.
O	6-
P	7 - Le critère biodiversité animale est très fortement plus important que le critère biodiversité végétale.
Q	8-

R	9 - Le critère biodiversité animale est extrêmement plus important que le critère biodiversité végétale.
---	--

42) Quel critère entre les critères *biodiversité du sol et biodiversité animale* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère biodiversité du sol est extrêmement plus important que le critère biodiversité animale.
B	8-
C	7 - Le critère biodiversité du sol est très fortement plus important que le critère biodiversité animale.
D	6-
E	5 - Le critère biodiversité du sol est fortement plus important que le critère biodiversité animale.
F	4-
G	3 - Le critère biodiversité du sol est modérément plus important que le critère biodiversité animale.
H	2-
I	1 - Les critères biodiversité du sol et biodiversité animale sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère biodiversité animale est modérément plus important que le critère biodiversité du sol.
M	4-
N	5 - Le critère biodiversité animale est fortement plus important que le critère biodiversité du sol.
O	6-
P	7 - Le critère biodiversité animale est très fortement plus important que le critère biodiversité du sol.
Q	8-
R	9 - Le critère biodiversité animale est extrêmement plus important que le critère biodiversité du sol.

43) Quel critère entre les critères *emplois créés et santé physique de la communauté agricole* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère emplois créés est extrêmement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
B	8-

C	7 - Le critère emplois créés est très fortement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
D	6-
E	5 - Le critère emplois créés est fortement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
F	4-
G	3 - Le critère emplois créés est modérément plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
H	2-
I	1 - Les critères emplois créés et santé physique de la communauté agricole sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère santé physique de la communauté agricole est modérément plus important que le critère emplois créés.
M	4-
N	5 - Le critère santé physique de la communauté agricole est fortement plus important que le critère emplois créés.
O	6-
P	7 - Le critère santé physique de la communauté agricole est très fortement plus important que le critère emplois créés.
Q	8-
R	9 - Le critère santé physique de la communauté agricole est extrêmement plus important que le critère emplois créés.

44) Quel critère entre les critères *santé mentale de la communauté agricole* et *santé physique de la communauté agricole* est plus important pour vous pour évaluer la durabilité des pratiques agricoles ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est extrêmement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
B	8-
C	7 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est très fortement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
D	6-
E	5 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est fortement plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.
F	4-
G	3 - Le critère santé mentale de la communauté agricole est modérément plus important que le critère santé physique de la communauté agricole.

H	2-
I	1 - Les critères santé mentale de la communauté agricole et santé physique de la communauté agricole sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le critère santé physique de la communauté agricole est modérément plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
M	4-
N	5 - Le critère santé physique de la communauté agricole est fortement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
O	6-
P	7 - Le critère santé physique de la communauté agricole est très fortement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.
Q	8-
R	9 - Le critère santé physique de la communauté agricole est extrêmement plus important que le critère santé mentale de la communauté agricole.

PARTIE C : DÉTERMINATION DES SEUILS DE PRÉFÉRENCE

Cette section vise à déterminer les seuils de préférence des critères d'évaluation de la durabilité agricole. Soient deux pratiques agricoles A et B qui ont respectivement les valeurs a et b (avec $a > b$) sur un critère donné C. Le seuil de préférence est la différence $d = a - b$ à partir de laquelle, la pratique A est préférée à la pratique B. Un acteur avec un seuil de préférence $d = 0$, suppose que cet acteur préférera la pratique A à la pratique B si et seulement si la pratique A, a obtenu un score a supérieur au score b obtenu par la pratique B sur le critère C. Par contre, un acteur avec un seuil de préférence $d > 0$, suppose que l'acteur préférera la pratique A à la pratique B si et seulement si le score a obtenu par la pratique A, a dépassé de d unités le score b obtenu par la pratique B sur le critère C.

Exemple: Un acteur qui a pour seuil de préférence $d = 0,5$ tonne/hectare sur le critère rendement agricole signifie que cet acteur préférera une pratique quelconque A à une autre B sur le critère rendement agricole si et seulement si la pratique A, a un rendement agricole qui dépasse au moins de 0,5 tonne/hectare celui de la pratique B.

Si 2 à la question 4,

45) Quels sont vos seuils de préférence pour les critères ci-dessous ?

Rappelez-vous que le seuil de préférence de 0 sur le critère i implique qu'une pratique A sera préférée à la pratique B sur le critère i si et seulement si la pratique A, a obtenu un score supérieur au score obtenu

par la pratique B. Si par contre vous choisissez un seuil de préférence $d > 0$, cela suppose que vous préférez la pratique A à la pratique B seulement si le score obtenu par la pratique A dépasse celui de la pratique B de d unités)

	Seuil de préférence
Équivalent CO2 net émis par le sol par hectare (tonne/ ha)	
Équivalent CO2 émis par les intrants agricoles par hectare (tonne / ha)	
Volume de sol perdu (mm/hectare/an)	
Densité du sol (g/cm^3)	
Quantité d'azote utilisé (kg N/ha)	
Quantité de phosphore utilisé (kg P/ha)	
Quantité de matière organique (g/kg de sol)	
Teneur en eau du sol (pourcentage)	
Nombre d'espèces plantées (culture commerciale + plante de couverture + plante des bandes riveraines + plante de haie brise vent)	
Biodiversité du sol (indice d'équilibre d'espèces) (en pourcentage)	
Biodiversité animale (nombre d'espèces animales)	
Bilan énergétique (kcal/ha)	
Écotoxicité de l'agriculture (Indice de risque pour l'environnement IRPeQ-E) (nombre entier)	
Marge bénéficiaire brute (somme des ventes moins les coûts variables) (\$/ha)	
Revenu de l'activité agricole moins les subventions (\$/ha)	
Nombre d'emplois agricoles générés reliés à la pratique agricole (nombre entier)	
Santé mentale (Nombre d'appels sur les lignes d'aide ou nombre de consultations auprès de travailleurs de rang)	
Santé physique (Indice de risque pour la santé IRPeQ- S) (nombre entier)	
Présence de résidus de pesticides dans le produit récolté (microgramme)	
Nombre de conflits de cohabitation ou nombre de plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides (nombre entier)	

Si 1 à la question 4,

45) Quels sont vos seuils de préférence pour les critères ci-dessous ?

Rappelez-vous que le seuil de préférence de 0 sur le critère i implique qu'une pratique A sera préférée à la pratique B sur le critère i si et seulement si la pratique A, a obtenu un score supérieur au score obtenu par la pratique B. Si par contre vous choisissez un seuil de préférence $d > 0$, cela suppose que vous préférez la pratique A à la pratique B seulement si le score obtenu par la pratique A dépasse celui de la pratique B de d unités)

	<i>Seuil de préférence</i>
Équivalent CO2 net émis par le sol par acre (tonne/ acre)	
Équivalent CO2 émis par les intrants agricoles par acre (tonne / acre)	
Volume de sol perdu (mm/acre/an)	
Densité du sol (g/cm ³)	
Quantité d'azote utilisé (kg N/acre)	
Quantité de phosphore utilisé (kg P/acre)	
Quantité de matière organique (g/kg de sol)	
Teneur en eau du sol (pourcentage)	
Nombre d'espèces plantées (culture commerciale + plante de couverture + plante des bandes riveraines + plante de haie brise vent)	
Biodiversité du sol (indice d'équilibre d'espèces) (en pourcentage)	
Biodiversité animale (nombre d'espèces animales)	
Bilan énergétique (kcal/acre)	
Écotoxicité de l'agriculture (indice de risque pour l'environnement IRPeQ-E) (nombre entier)	
Marge bénéficiaire brute (somme des ventes moins les coûts variables) (\$/acre)	
Revenu de l'activité agricole moins les subventions (\$/acre)	
Nombre d'emplois agricoles générés reliés à la pratique agricole (nombre entier)	
Santé mentale (nombre d'appels sur les lignes d'aide ou nombre de consultations auprès de travailleurs de rang)	
Santé physique (indice de risque pour la santé IRPeQ- S) (nombre entier)	
Présence de résidus de pesticides dans le produit récolté (microgramme)	
Nombre de conflits de cohabitation ou nombre de plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides (nombre entier)	

PARTIE D : INFORMATIONS GÉNÉRALES

47) Quel est votre niveau d'éducation ?

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- a) Primaire b) Secondaire
c) Collégial c) Universitaire

48) Quelle est votre discipline de formation ?

Veillez écrire votre réponse ici :

49) Quelle est votre activité principale ?

Veillez écrire votre réponse ici :

50) Quel est le nombre d'années d'expérience dans la fonction que vous occupez ?

Veillez écrire votre réponse ici :

51) Avez-vous des publications scientifiques ?

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- a) Oui b) Non

52) Si oui, quel est le nombre total de vos publications scientifiques ?

Veillez écrire votre réponse ici :

Votre questionnaire a été complété avec succès. Nous vous remercions pour votre participation à l'étude.

ANNEXE E
LIST OF EXPERTS

Experts	Areas of expertise	Function	Experience
Expert A	Crop management	Researcher	6 years and more
Expert B	Soil fertilization	Research professional	3 years and more
Expert C	Soil fertility and soil ecological health of agroecosystems	Professor	23 years and more
Expert D	Toxicology	Adjunct professor	10 years and more
Expert E	Soil and nutrient biochemistry	Researcher	26 years and more
Expert F	Crop management in field crop	Professor	19 years and more
Expert G	Sustainable bioresource production	Associate professor	7 years and more
Expert H	Farm management and soil tillage	Faculty lecturer	10 years and more

ANNEXE F

GUIDE D'ENTRETIEN ET QUESTIONNAIRE DESTINÉS AUX EXPERTS

I) GUIDE D'ENTRETIEN POUR LES EXPERTS

Thème 1 : Choix des meilleurs scénarios (pratiques agricoles)

1. Parmi les pratiques agricoles suivantes, quelles sont celles qui sont les plus durables ? Donnez la liste des pratiques agricoles et demandez à chaque participant ses cinq meilleures pratiques.
2. Quels sont vos commentaires sur les résultats du vote?

Thème 2 : Évaluation de la durabilité des pratiques agricoles (via le sondage en ligne)

Partagez avec les participants la liste des critères d'évaluation devant servir à évaluer les pratiques agricoles lors du sondage de suivi.

Thème 3 : Pondération des piliers de l'agriculture de conservation (via le sondage en ligne)

II) QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX EXPERTS

SECTION1 : IDENTIFICATION DES PARTICIPANTS

1) Veuillez inscrire votre courriel si vous êtes intéressé(e) à recevoir les conclusions de l'étude.

Veuillez écrire votre réponse ici :

2) Quelle est votre discipline de formation ?

Veuillez écrire votre réponse ici :

SECTION2 : PONDÉRATION DES PILIERS DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

Cette section vise à déterminer les poids des piliers de l'agriculture de conservation en fonction de leurs contributions à la durabilité de l'agriculture de conservation. Les poids seront déterminés en utilisant une comparaison par paire des piliers. Le tableau ci-dessous donne les piliers de l'agriculture de conservation.

<i>Piliers de l'agriculture de conservation</i>	
<i>Pilier 1</i>	<i>Perturbation mécanique minimale des sols</i>
<i>Pilier 2</i>	<i>Couverture organique permanente des sols par les résidus des végétaux ou les plantes de couverture</i>
<i>Pilier3</i>	<i>Rotation des cultures</i>

3) Quel pilier entre les piliers ***perturbation mécanique minimale des sols*** et ***couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture*** est plus important pour vous

pour assurer la durabilité de l'agriculture de conservation ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est extrêmement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
B	8-
C	7 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est très fortement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
D	6-
E	5 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est fortement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
F	4-
G	3 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est modérément plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
H	2-
I	1 - Les piliers perturbation mécanique minimale des sols et couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est modérément plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
M	4-
N	5 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est fortement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
O	6-
P	7 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est très fortement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
Q	8-
R	9 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est extrêmement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.

4) Quel pilier entre les piliers ***perturbation mécanique minimale des sols*** et ***rotation des cultures*** est plus important pour vous pour assurer la durabilité de l'agriculture de conservation ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est extrêmement plus important que
---	---

	le pilier rotation des cultures.
B	8-
C	7 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est très fortement plus important que le pilier rotation des cultures.
D	6-
E	5 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est fortement plus important que le pilier rotation des cultures.
F	4-
G	3 - Le pilier perturbation mécanique minimale des sols est modérément plus important que le pilier rotation des cultures.
H	2-
I	1 - Les piliers perturbation mécanique minimale des sols et rotation des cultures sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le pilier rotation des cultures est modérément plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
M	4-
N	5 - Le pilier rotation des cultures est fortement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
O	6-
P	7 - Le pilier rotation des cultures est très fortement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.
Q	8-
R	9 - Le pilier rotation des cultures est extrêmement plus important que le pilier perturbation mécanique minimale des sols.

5) Quel pilier entre les piliers **rotation des cultures** et **couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture** est plus important pour vous pour assurer la durabilité de l'agriculture de conservation ? (Les valeurs 2, 4, 6 et 8 correspondent aux importances intermédiaires)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

A	9 - Le pilier rotation des cultures est extrêmement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
B	8-
C	7 - Le pilier rotation des cultures est très fortement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
D	6-
E	5 - Le pilier rotation des cultures est fortement plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
F	4-
G	3 - Le pilier rotation des cultures est modérément plus important que le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture.
H	2-

I	1 - Les piliers rotation des cultures et couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture sont de même importance.
J	2-
K	3 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est modérément plus important que le pilier rotation des cultures.
M	4-
N	5 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est fortement plus important que le pilier rotation des cultures.
O	6-
P	7 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est très fortement plus important que le pilier rotation des cultures.
Q	8-
R	9 - Le pilier couverture organique permanente par les résidus de végétaux et/ou les plantes de couverture est extrêmement plus important que le pilier rotation des cultures.

SECTION3 : ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES PRATIQUES AGRICOLES

Cette section vise à évaluer la durabilité des pratiques agricoles. Cette évaluation est faite en comparant les pratiques agricoles entre elles sur l'ensemble des indicateurs de durabilité présentés dans le tableau 1 ci-dessous. Le tableau 2 donne la liste des pratiques agricoles à évaluer. Les définitions des piliers sont présentées au tableau 3. **Répondez aux questions au meilleur de vos connaissances.**

Tableau 1 : Indicateurs de durabilité

Préoccupations	Enjeux	Critères	Indicateurs	Unités	Max/Min
Environnement	Contribution au changement climatique	Émission nette de GES du sol	Équivalent CO2 net émis par hectare	tonne / ha	Min
		Émission de GES des intrants agricoles (carburant et fertilisants)	Équivalent CO2 émis par les intrants agricoles par hectare	tonne / ha	Min
	Préservation des sols	Érosion des sols	Volume de sol perdu	tonne/ha/an	Min
	Santé des sols	Qualité physique du sol Qualité chimique du sol	Structure du sol	Qualitatif	Max
			Quantité d'azote utilisée	kg N/ha	Min
			Quantité de phosphore utilisée	kg P/ha	Min
			Quantité de matière organique	g/kg de sol	Max
	Ressources hydriques	Offre adéquate en eau des sols	Teneur en eau du sol	Pourcentage	Max
	Préservation de la biodiversité	Biodiversité végétale	Nombre d'espèces plantées (culture commerciale + plante de couverture + plante des bandes riveraines ou plante de haie brise vent)	Nombre d'espèces	Max
			Indice d'équilibre des espèces	Pourcentage	Max
			Biodiversité animale	Nombre d'espèces animales au champ	Nombre d'espèces	Max
Dépense énergétique	Consommation d'énergie	Bilan énergétique (l'énergie contenue dans l'output moins l'énergie incorporée dans les intrants agricoles moins l'énergie consommée par l'activité agricole)	kcal/ha	Max	
Santé des écosystèmes	Écotoxicité de l'agriculture	Indice de risque pour l'environnement (IRPeQ-E)	Nombre entier	Min	
Économie	profitabilité	Revenu agricole	Marge bénéficiaire brute (vente moins les coûts variables)	\$/ha	Max
		Contribution de l'agriculture au PIB	Revenu de l'activité agricole moins les subventions	\$/ha	Max

Social	Bien-être de la communauté agricole	Emplois créés	Nombre d'emplois agricoles générés par la pratique agricole.	Nombre entier	Max
		Santé mentale de la communauté agricole	Nombre d'appels sur les lignes d'aide ou nombre de consultations auprès de travailleurs de rang	Nombre entier	Min
		Santé physique de la communauté agricole	Indice de risque pour la santé (IRPeQ-S)	Nombre entier	Min
	Acceptabilité sociale	Qualité du produit de la récolte	Présence de résidus de pesticides dans le produit récolté	Microgrammes	Min
		Qualité de la cohabitation rurale-urbaine	Nombre de conflits de cohabitation ou nombre de plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides	Nombre entier	Min
	Production agricole	Capacité à satisfaire la demande en nourriture élevée	Rendement	tonne/ha	Max

Tableau 2: liste des pratiques agricoles

Pratiques agricoles	Caractéristiques des pratiques agricoles				
	Pilier 1	Pilier 2	Pilier 3	Résidus agricole	Intrant
SCV	Semis direct	Rotation des cultures	Présence de plantes de couverture mortes	Oui	Chimique
AC1	Travail réduit du sol	Rotation des cultures	Présence de plantes de couverture vivantes	Oui	Chimique
AC2	Travail réduit du sol	Rotation des cultures	Présence de plantes de couverture mortes	Oui	Chimique
AC3	Travail réduit du sol	Rotation des cultures	Présence de plantes de couverture vivantes	Oui	Organique
AC4	Travail réduit du sol	Rotation des cultures	Présence de plantes de couverture mortes	Oui	Organique
AB	Travail conventionnel du sol	Rotation des cultures	Présence de cultures intercalaires	Non	Organique
SD	Semis direct	Rotation des cultures	Absence de plantes de couverture	Oui	Chimique
TR	Travail réduit du sol	Rotation des cultures	Absence de plantes de couverture	Oui	Chimique
TC	Travail conventionnel du sol	Rotation des cultures	Absence de cultures intercalaires	Non	Chimique

Tableau 3: définitions des piliers

Semis direct	Technique permettant l'établissement de cultures sans labour. Cette technique implique un maintien maximal des résidus de culture sur le sol.
Travail réduit du sol	Travail du sol moins intensif que le travail conventionnel impliquant une incorporation partielle des résidus de culture (au moins 30% des résidus doivent être maintenus sur le sol)
Travail conventionnel du sol	Tout système qui vise à incorporer la plupart des résidus de culture laissant moins de 30% des résidus de culture sur le sol.
Couverture végétale morte	Plante ou mélange de plantes de couverture semé après ou pendant la croissance de la culture principale et dont l'objectif principal est de couvrir le sol. Elle sera soit détruite à l'hiver et se couchera d'elle-même formant un paillis, soit éliminée au printemps par roulage ou bien desséchée (brûlage) par un herbicide avant ou après le semis de la culture principale.
Couverture végétale vivante	Plante ou mélange de plantes de couverture semé après ou pendant la croissance de la culture principale dont la partie aérienne est fauchée ou desséchée par un herbicide de contact en vue d'en ralentir la croissance, dans le but de maintenir en permanence un système racinaire vivant dans le sol.
Rotation des cultures	Alternance de cultures dans un champ donné et selon une séquence prévue, au cours de campagnes agricoles successives, de sorte que des plantes de la même espèce ou de la même famille ne soient pas cultivées de façon continue dans le même champ. La rotation des cultures sera considérée ici si elle implique au moins trois cultures.
Intrant chimique	L'intrant chimique inclut à la fois les engrais chimiques et les pesticides.

6) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « équivalent CO₂ net émis par le sol par hectare » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui émet le moins d'équivalent CO₂ net par sol par hectare au premier rang (1^{ère}) et celle qui émet le plus au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

7) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « équivalent CO₂ net émis par les intrants agricoles par hectare » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui émet le moins d'équivalent CO₂ net issu des intrants agricoles par hectare au premier rang (1^{ère}) et celle qui émet le plus au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

8) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « volume de sol perdu » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui perd le moins de volume de sol (moins d'érosion des sols) au premier rang (1^{ère}) et celle qui perd le plus au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										

AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

9) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « structure du sol » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a la meilleure structure du sol au premier rang (1^{ère}) et celle qui a la plus mauvaise structure du sol au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

10) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « quantité d'azote utilisée » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui utilise le moins d'azote (c'est à dire les apports d'azote via les engrais) au premier rang (1^{ère}) et celle qui utilise le plus d'azote au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

11) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « quantité de phosphore utilisée » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui utilise le moins de phosphore (c'est à

dire les apports de phosphore via les engrais) au premier rang (1^{ère}) et celle qui utilise le plus de phosphore au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

12) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « quantité de matière organique » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus de matière organique au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le moins de matière organique au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

13) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « teneur en eau du sol » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a la plus grande teneur en eau du sol au premier rang (1^{ère}) et celle qui a la plus petite teneur en eau du sol au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										

AB										
SD										
TR										
TC										

14) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « nombre d'espèces plantées (biodiversité végétale) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus grand nombre d'espèces plantées au premier rang (1^{ère}) et celle qui le plus petit nombre d'espèces plantées au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

15) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « indice d'équilibre des espèces (biodiversité du sol) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus grand indice d'équilibre des espèces au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le plus petit indice d'équilibre des espèces au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

16) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « nombre d'espèces animales dans le champ (biodiversité animale) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus grand nombre d'espèces animales dans le champ au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le plus petit nombre d'espèces animales dans le champ au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

17) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « bilan énergétique » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le bilan énergétique le plus élevé au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le bilan énergétique le plus bas au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

18) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « indice de risque pour l'environnement (IRPeQ-E) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus petit IRPeQ-E au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le plus grand IRPeQ-E au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

19) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « marge bénéficiaire brute (vente moins les coûts variables) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a la plus grande marge bénéficiaire brute au premier rang (1^{ère}) et celle qui a la plus petite marge bénéficiaire brute au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

20) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « contribution au PIB (revenu de l'activité agricole moins les subventions) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui contribue le plus au PIB au premier rang (1^{ère}) et celle qui contribue le moins au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

21) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « nombre d'emplois agricoles générés par la pratique agricole » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui génère le plus grand nombre d'emplois agricoles au premier rang (1^{ère}) et celle qui génère le plus petit nombre d'emplois agricoles au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										

AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

22) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « nombre d'appels sur les lignes d'aide ou nombre de consultations auprès des travailleurs de rang » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui est susceptible d'avoir le plus petit nombre d'appels sur les lignes d'aide (ou de consultations auprès des travailleurs de rang) au premier rang (1^{ère}) et celle qui est susceptible d'avoir le plus grand nombre au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

23) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « indice de risque pour la santé (IRPeQ-S) » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus petit IRPeQ-S au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le plus grand IRPeQ-S au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

24) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « présence de résidus de pesticides dans le produit récolté » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a la

plus faible présence de résidus de pesticides dans le produit récolté au premier rang (1^{ère}) et celle qui a la plus grande présence de résidus de pesticides au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

25) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « nombre de conflits de cohabitation ou nombre de plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui est susceptible d'avoir le plus petit nombre de conflits de cohabitation (ou plaintes pour les odeurs ou pour l'usage de pesticides) au premier rang (1^{ère}) et celle qui est susceptible d'avoir le plus grand nombre de conflits de cohabitation (ou de plaintes) au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										
AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

26) Selon vous, quelle est la meilleure pratique agricole selon l'indicateur « rendement » ? Classez l'ensemble des pratiques agricoles en mettant celle qui a le plus grand rendement agricole au premier rang (1^{ère}) et celle qui a le plus petit rendement agricole au dernier rang (9^{ème}). Les pratiques agricoles peuvent occuper le même rang.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}	Ne sait pas
SCV										
AC1										

AC2										
AC3										
AC4										
AB										
SD										
TR										
TC										

Votre questionnaire a été complété avec succès. Nous vous remercions pour votre participation à l'étude.

ANNEXE G

GLOBAL FINAL RANKING OF AGRICULTURAL PRACTICES WITH JOB CREATED INDICATOR AS A MINIMIZING CRITERION

Agricultural practices	Sustainability	
	Rank	$\emptyset(A_i)$
Conservation agriculture 3 (27-CA1)	1	0.4456
Conservation agriculture 4 (28-CA2)	2	0.2962
Direct seeding mulch-based cropping system (2-DMC2)	3	-0.0618
Conservation agriculture 2 (8-CA2)	4	-0.3162
Conservation agriculture 1 (7-CA1)	5	-0.3638

ANNEXE H

DESCRIPTIVE STATISTIC OF UCIACA

Variable	Observation	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
UCIACA 2020	144	0.74a	0.27	0	1
UCIACA 2019	144	0.75a	0.26	0	1
UCIACA 2018	144	0.71	0.28	0	1
UCIACA	144	0.73	0.25	0	1

a=Means that the means are statistically equivalent ($p>0.1$)

ANNEXE I

RANK OF FARMERS ACCORDING TO CIACA AND UCIACA

Farmers	CIACA	Rank	UCIACA	Rank
A1		1	1	1
A2		1	1	1
A3		1	1	1
A4		1	1	1
A5		1	1	1
A6		1	1	1
A7		1	1	1
A8		1	1	1
A9		1	1	1
A10		1	1	1
A11		1	1	1
A12		1	1	1
A13		1	1	1
A14		1	1	1
A15		1	1	1
A16		1	1	1
A17		1	1	1
A18		1	1	1
A19		1	1	1
A20		1	1	1
A21		1	1	1
A22		1	1	1
A23		1	1	1
A24		1	1	1
A25		1	1	1
A26		1	1	1
A27		1	1	1
A28		1	1	1
A29		1	1	1
A30		1	1	1
A31		1	1	1
A32	0.999		2	0.998
A33	0.998		3	0.997
A34	0.985		4	0.978
A35	0.982		5	0.978
A36	0.977		6	0.967
A37	0.977		6	0.967
A38	0.977		6	0.967
A39	0.966		7	0.959
A40	0.963		8	0.956

A41	0.961	9	0.945	9
A42	0.958	10	0.95	8
A43	0.958	10	0.95	8
A44	0.953	11	0.934	10
A45	0.953	11	0.934	10
A46	0.951	12	0.934	10
A47	0.941	13	0.917	12
A48	0.93	14	0.917	12
A49	0.93	14	0.917	12
A50	0.922	15	0.923	11
A51	0.921	16	0.889	15
A52	0.919	17	0.887	16
A53	0.906	18	0.912	13
A54	0.9	19	0.9	14
A55	0.898	20	0.885	17
A56	0.889	21	0.867	18
A57	0.884	22	0.838	22
A58	0.883	23	0.85	20
A59	0.881	24	0.834	23
A60	0.881	24	0.834	23
A61	0.877	25	0.867	18
A62	0.865	26	0.812	25
A63	0.863	27	0.856	19
A64	0.862	28	0.867	18
A65	0.86	29	0.867	18
A66	0.854	30	0.834	23
A67	0.851	31	0.823	24
A68	0.849	32	0.789	27
A69	0.843	33	0.795	26
A70	0.841	34	0.834	23
A71	0.829	35	0.784	29
A72	0.817	36	0.823	24
A73	0.814	37	0.778	30
A74	0.813	38	0.777	31
A75	0.81	39	0.789	27
A76	0.789	40	0.728	36
A77	0.788	41	0.839	21
A78	0.775	42	0.789	28
A79	0.769	43	0.695	40
A80	0.761	44	0.778	30
A81	0.76	45	0.834	23
A82	0.756	46	0.767	33
A83	0.75	47	0.773	32
A84	0.744	48	0.823	24

A85	0.708	49	0.684	42
A86	0.704	50	0.727	37
A87	0.701	51	0.712	39
A88	0.699	52	0.745	35
A89	0.695	53	0.756	34
A90	0.694	54	0.684	42
A91	0.689	55	0.684	42
A92	0.689	55	0.6	49
A93	0.685	56	0.639	45
A94	0.681	57	0.723	38
A95	0.673	58	0.689	41
A96	0.664	59	0.617	47
A97	0.661	60	0.6	50
A98	0.648	61	0.667	43
A99	0.645	62	0.65	44
A100	0.641	63	0.667	43
A101	0.628	64	0.599	51
A102	0.603	65	0.557	55
A103	0.577	66	0.623	46
A104	0.566	67	0.567	53
A105	0.565	68	0.562	54
A106	0.565	68	0.562	54
A107	0.561	69	0.556	56
A108	0.537	70	0.512	58
A109	0.521	71	0.5	60
A110	0.52	72	0.667	43
A111	0.504	73	0.612	48
A112	0.5	74	0.5	60
A113	0.478	75	0.524	57
A114	0.475	76	0.35	71
A115	0.473	77	0.506	59
A116	0.461	78	0.445	63
A117	0.457	79	0.456	61
A118	0.45	80	0.584	52
A119	0.449	81	0.45	62
A120	0.427	82	0.445	63
A121	0.427	82	0.434	64
A122	0.401	83	0.5	60
A123	0.383	84	0.367	69
A124	0.372	85	0.395	66
A125	0.361	86	0.389	67
A126	0.361	86	0.423	65
A127	0.36	87	0.334	73
A128	0.334	88	0.334	73

A129	0.333	89	0.289	75
A130	0.331	90	0.334	73
A131	0.313	91	0.356	70
A132	0.307	92	0.384	68
A133	0.293	93	0.35	71
A134	0.281	94	0.334	73
A135	0.281	94	0.334	73
A136	0.281	94	0.334	73
A137	0.266	95	0.339	72
A138	0.257	96	0.317	74
A139	0.186	97	0.22	77
A140	0.18	98	0.25	76
A141	0.141	99	0.167	78
A142	0.094	100	0.112	79
A143	0	101	0	80
A144	0	101	0	80

Red colour is used for farmers that have got the same rank in the two approaches.

ANNEXE J

COMPUTATION OF FARMER'S PERCEPTION REGARDING THE YIELD AND RISK OF CONSERVATION AGRICULTURE

To compute the variables farmer's perception regarding the yield and risk of conservation agriculture, we have asked to farmers to distribute a total of 20 coins over a series of possible maize yield values that could be obtained by a CA producer. The 20 coins stand here for 20 agricultural campaigns. The series of possible maize yield of CA is presented in table below:

Maize yield (ton/hectare)	6 or less	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	11 and over
Number of coins										

Farmer's perception regarding the yield of CA is the mean of expected yields.

Farmer's perception regarding the risk of CA is the variance of expected yields.

ANNEXE K
CORRELATION MATRIX

Variables	CIACA	σ	δ	λ	prendac	priskac	agroenv	educc	educu	formagri	age	travail	logsup	flocation	fac
CIACA	1.000														
σ	-0.140	1.000													
δ	0.048	0.042	1.000												
λ	0.110	-0.197	-0.106	1.000											
prendac	0.303	-0.068	-0.119	-0.042	1.000										
priskac	0.103	-0.103	0.052	0.263	-0.334	1.000									
agroenv	0.142	-0.139	0.016	-0.084	0.116	-0.056	1.000								
educc	0.042	-0.038	-0.008	0.105	0.360	0.108	0.127	1.000							
educu	0.073	0.005	-0.101	-0.139	-0.255	-0.093	0.059	-0.510	1.000						
formagri	0.125	-0.033	-0.144	0.105	0.084	0.120	0.192	0.411	0.145	1.000					
age	0.063	-0.043	0.132	0.099	-0.052	0.058	0.009	-0.250	0.079	-0.213	1.000				
travail	0.082	0.010	-0.117	-0.077	-0.094	0.161	0.124	0.004	0.252	0.271	-0.177	1.000			
logsup	0.104	0.026	0.172	0.044	0.037	0.005	-0.025	0.191	-0.157	-0.099	-0.259	-0.094	1.000		
flocation	0.084	-0.032	0.091	0.049	-0.159	-0.106	-0.146	-0.069	-0.112	-0.109	-0.071	-0.033	0.448	1.000	
fac	0.288	0.013	0.032	0.046	0.110	-0.077	-0.014	-0.052	-0.046	-0.142	0.055	-0.451	0.044	0.060	1.000



ANNEXE L

QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX PRODUCTEURS DE MAÏS ET SOJA

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

ANALYSE DE L'ADOPTION ET DE LA DURABILITÉ DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION : CAS DES
PRODUCTEURS DE MAÏS ET DE SOJA QUÉBÉCOIS.

PRÉAMBULE:

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche qui vise à mieux cerner les pratiques agricoles dans les grandes cultures de soja et de maïs. Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions en les envoyant à l'adresse de courriel indiquée plus bas.

IDENTIFICATION:

Chercheurs responsables du projet : **Marc Lucotte**, professeur, département des sciences de la terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal
Chercheur principal

Charles Séguin, professeur, département des sciences économiques, Université du Québec à Montréal
Encadreur

Jean-François Guay, professeur associé, Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montréal;
Coordonnateur régional en planification du territoire au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Co-encadreur

Guy Martial Takam Fongang, étudiant au doctorat en sciences de l'environnement, Institut des Sciences de l'Environnement, l'Université du Québec à Montréal
Adresse postale : C.P. 8888, succursale Centre-ville
Montréal, Québec Canada H3C 3P8
Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

DESCRIPTION ET OBJECTIFS DU PROJET:

Le projet de recherche est le volet socio-économique du gros projet MYFROG ([*Maintaining high yields in field crops while reconsidering the option of using glyphosate*](#)) dont l'objectif global est d'analyser les pratiques alternatives de production de maïs et soja permettant de réduire l'usage du glyphosate tout en maintenant des rendements agricoles élevés. Effectué en collaboration avec le ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le projet MYFROG a reçu un appui financier venant du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). L'objectif du projet de recherche est de faire une analyse comparée de la durabilité des pratiques agricoles utilisées dans les grandes cultures d'une part et de déterminer les facteurs qui motivent l'adoption des pratiques agricoles alternatives comme l'agriculture de conservation d'autre part.

PROCÉDURE(S) OU CONTRIBUTIONS DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Votre contribution consiste à participer à un sondage en ligne dont le thème central porte sur la durabilité des pratiques agricoles observées dans les grandes cultures de maïs et soja au Québec. Le sondage aura lieu au courant du mois de novembre 2020 et vous prendra environ 30 à 60 minutes pour répondre aux questions du sondage. Tout producteur de maïs peut participer à ce sondage.

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension de la durabilité des pratiques agricoles d'une part, et des mécanismes dans la prise de décision en matière de pratiques agricoles d'autre part. Les conclusions de l'étude vous seront communiquées et vous pourriez les considérer comme un outil supplémentaire parmi ceux que vous avez déjà vous permettant de prendre des décisions en lien avec vos activités en agriculture. Votre participation vous fait également courir la chance de gagner un prix parmi les 10 prix mis en jeu. Chaque prix d'une valeur estimée à 1200 dollars consiste à analyser la teneur en glyphosate et en AMPA (principal produit de dégradation du glyphosate) dans un de vos champs semés en soja en 2021. L'analyse sera faite en prélevant 3 carottes de terre dans le champ sur deux profondeurs (0-20 cm et 20-40 cm) et les résultats vous seront transmis avec une

interprétation comparative par rapport à ce qui est retrouvé ailleurs au Québec. Les 10 participants qui bénéficieront de ces analyses, seront sélectionnés aléatoirement parmi les participants au sondage.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, mais vous pourriez ressentir un inconfort à répondre à certaines questions d'ordre économique ou social. Afin de limiter ce risque au minimum, vous pouvez choisir de ne pas répondre aux questions qui vous occasionnent un inconfort et cela sans avoir à vous justifier. Vous pouvez également choisir d'arrêter de participer à l'étude à tout moment en notifiant par courriel le chercheur responsable de l'étude. À ce moment, toutes les informations vous concernant et vos réponses au questionnaire autoadministré seront détruites. La collecte de données par l'entremise du questionnaire autoadministré pourrait causer des inquiétudes par rapport à la confidentialité des données. Afin de réduire au minimum ce risque, il sera impossible de faire une identification directe grâce aux informations obtenues soit, l'âge, le sexe et la tranche de revenu du participant. Une situation d'inconfort peut survenir également à la fin du projet, lorsque les conclusions de ce dernier mettent la lumière sur certaines pratiques en agriculture. Cependant, le risque est minimal, car les études sur les pratiques en agriculture sont nombreuses (utilisation des herbicides, des OGM, etc.). Il est considéré ainsi que le risque est minimal, car celui-ci n'est pas plus important que celui que le participant subit dans la vie de tous les jours de par la nature de ses activités.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les données collectées à travers le sondage sont confidentielles. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs auront accès à ces données. Le traitement et l'analyse de ces données seront assurés uniquement par l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs afin de limiter les risques de fuite d'informations.

Afin de protéger l'identité et la confidentialité des données recueillies auprès des participants, ces derniers seront toujours identifiés par un code alphanumérique. Le code alphanumérique numérote le questionnaire et la zone géographique du participant. Les codes seront sur un serveur et seulement le chercheur responsable (l'étudiant effectuant le projet de doctorat) pourra y accéder. Seuls l'étudiant effectuant le projet de doctorat, les chercheurs encadrant l'étudiant et les collaborateurs auront accès au contenu des questionnaires sur les serveurs en ligne. De plus, les formulaires de consentement seront effacés du serveur 5 ans après les dernières publications.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT :

- g. Votre participation à ce projet est totalement volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure.
- h. Vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.
- i. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE OU AUTRE :

Aucune compensation financière reliée à votre participation n'est prévue dans le cadre de ce projet.

RECHERCHES ULTÉRIEURES :

Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de cinq ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de la recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Guy Martial Takam Fongang, étudiant au doctorat en sciences de l'environnement à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université du Québec à Montréal, responsable de l'étude.

Adresse courriel : takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à CIEREH@UQAM.CA

REMERCIEMENTS :

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Prénom et nom du chercheur responsable du projet: **Guy Martial Takam Fongang**

Coordonnées :

Institut des Sciences de l'Environnement
Université du Québec à Montréal
takam_fongang.guy_martial@courrier.uqam.ca

PARTIE A : INFORMATIONS ET CONSENTEMENT

Vous pouvez sauvegarder vos réponses à tout moment et revenir terminer le sondage plus tard en cliquant sur le bouton «Finir plus tard» situé en haut à votre droite.

Les questions contenues dans cette section visent à collecter votre consentement à participer à cette étude.

1) Acceptez-vous de participer à ce projet de recherche? En répondant oui à cette question,

- vous reconnaissez avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
 - vous consentez volontairement à participer à ce projet de recherche;
 - vous comprenez les objectifs du projet de recherche et ce que votre participation implique;
 - vous comprenez que votre participation à cette recherche est totalement volontaire et que vous pouvez y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.
-
- ❖ Oui, j'accepte de participer au projet de recherche.
 - ❖ Non, je refuse de participer au projet de recherche.

2) Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de cinq ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

- ❖ J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.
- ❖ Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs.

3) Veuillez inscrire votre courriel si vous êtes intéressé(e) à recevoir les conclusions de l'étude. Ce courriel servira également à communiquer les résultats du jeu-concours associé à cette étude.

Votre courriel :

Partie B : IDENTIFICATION

Les informations collectées dans cette section sont celles du propriétaire de l'exploitation ou celles du principal opérateur lorsque l'exploitation est une entreprise

N°	Questions	Réponses
4	Depuis combien d'années faites-vous l'agriculture ?	.....

5	Depuis combien d'années faites-vous la production du maïs et /ou du soja ?	.....
6	Le maïs et le soja sont-ils votre principale culture ?	1- Oui 2- Non
	Si oui à la question 6, répondez à la question 7	Sinon, continuez à la question 8
7	Faites-vous d'autres cultures en plus du maïs et du soja ?	1- Oui 2- Non
8	Êtes-vous membre d'un club agroenvironnemental ?	1-Oui 2-Non
9	Avez-vous reçu une formation en agriculture ?	1- Oui 2- Non
10	Avez-vous un travail non agricole ?	1- Oui 2- Non
11	Votre production de maïs/soja est-elle certifiée biologique ?	1- Oui 2- Non
12	Faites- vous de la production animale (Bovin, porc, volaille etc.) ?	1- Oui 2- Non
13	Vous êtes	1- Un homme 2- Une femme
14	Quel est votre âge ?	.....
15	Quel est votre niveau d'éducation ?	1- Primaire 2- Secondaire 3- Collégial 4- Universitaire

Partie C : INFORMATIONS GÉNÉRALES

Les informations collectées dans cette section sont celles du propriétaire de l'exploitation ou celles du principal opérateur lorsque l'exploitation est une entreprise

N°	Questions	Réponses
16	Quelle est la région administrative où se trouvent vos champs ? <i>Si vous avez des champs dans plusieurs régions, donnez la région administrative où se trouve la majorité de vos champs.</i>	.....
17	Dans quelle Municipalité Régionale de Comté (MRC) ou territoire se trouvent vos champs ? <i>Si vous avez des champs dans plusieurs MRC ou territoires, donnez la MRC ou le territoire où se trouve la majorité de vos champs.</i>	.....

26		Faites-vous de l'agriculture de conservation dans vos parcelles de maïs et soja ?	1-Oui	2-Non
		Sinon à la question 26, continuez à la question 28		
27		En quelle année avez-vous commencé à faire de l'agriculture de conservation dans vos parcelles de maïs et soja ?	.....
28		Avez-vous déjà entendu parler de la pratique du « semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) » ?	1-Oui	2-Non
29	Si oui à la question 28	Le SCV est-il une pratique facile à implémenter ?	1) Très difficile 2) Difficile 3) Facile 4) Très facile	
30		Connaissez-vous un producteur agricole qui fait du SCV ?	1-Oui	2-Non
31		Faites-vous du SCV dans vos parcelles de maïs et soja ?	1-Oui	2-Non
		Sinon à la question 31, continuez à la question 33		
32		En quelle année avez-vous commencé à faire du SCV dans vos parcelles de maïs et soja ?	.....

Partie D : CARACTÉRISTIQUES DES PARCELLES DE MAÏS ET SOJA

Les informations collectées dans cette section visent à déterminer l'historique des parcelles de maïs et soja. Pour ce faire, une première question est posée pour déterminer le nombre de parcelles de maïs et soja que vous aviez en 2020. Par la suite, plusieurs questions sont posées pour déterminer les différentes cultures et pratiques qui ont été faites sur les parcelles. Par exemple si vous aviez 2 parcelles de maïs et soja de 50 et 30 hectares en 2020; nous aimerions savoir : quelles cultures commerciales, quelles cultures de couverture ont été semées sur ces parcelles en 2020, 2019 et 2018, quelles pratiques (parmi le travail réduit du sol, le semis direct ou le travail conventionnel du sol) ont été utilisées sur ces parcelles en 2020, 2019 et 2018, etc.

N°	Questions	Réponses	
		Maïs	Soja
33	Quelles sont les superficies totales (en hectare) de l'ensemble des parcelles de maïs et soja que vous aviez en 2020 ?		
34	Avez-vous pratiqué la rotation culturale sur vos parcelles de maïs/soja au cours de ces 3 dernières années ?		
34a	En 2020	1- Oui	2- Non
34b	En 2019	1- Oui	2- Non
34c	En 2018	1- Oui	2- Non

35		Quelles sont les principales cultures commerciales qui ont été utilisées dans la rotation des cultures au cours des trois dernières années ? Vous pouvez cocher plusieurs cultures.	1-Maïs 2-Soja 3-Blé 7-Autre à préciser	4-Canola 5-Orge 6-Avoine
36	Si oui à la question 34	Sur quel pourcentage de parcelles de maïs /soja, avez-vous pratiqué la rotation culturale au cours de ces trois dernières années ?		Pourcentage des parcelles de maïs/ soja (%) sous rotation culturale
			En 2020	
			En 2019	
			En 2018	
37	Avez-vous fait la pratique du semis direct sur vos parcelles de maïs/soja au cours des 3 dernières années ?			
37a	En 2020		1- Oui	2- Non
37b	En 2019		1- Oui	2- Non
37c	En 2018		1- Oui	2- Non
38	Si oui à la question 37	Sur quel pourcentage de parcelles de maïs /soja, avez-vous pratiqué le semis direct au cours des trois dernières années ?		Pourcentage des parcelles de maïs/ soja (%) semis direct
			En 2020	
			En 2019	
			En 2018	
39	Avez-vous fait la pratique du travail réduit du sol sur vos parcelles de maïs/soja au cours des 3 dernières années ?			
39a	En 2020		1- Oui	2- Non
39b	En 2019		1- Oui	2- Non
39c	En 2018		1- Oui	2- Non
40	Si oui à la question 39	Sur quel pourcentage de parcelles de maïs /soja, avez-vous pratiqué le travail réduit du sol au cours des trois dernières années ?		Pourcentage des parcelles de maïs/ soja (%) sous travail réduit du sol
			En 2020	
			En 2019	
			En 2018	
41	Avez-vous laissé à la surface du sol la plupart des résidus de récolte de vos parcelles de maïs/soja au cours des 3 dernières années ?			
41a	En 2020		1- Oui	2- Non
41b	En 2019		1- Oui	2- Non
41c	En 2018		1- Oui	2- Non

42	Si oui à la question 41	Sur quel pourcentage de parcelles de maïs /soja, avez-vous laissé à la surface du sol la plupart des résidus de récolte au cours des trois dernières années ?		Pourcentage des parcelles de maïs/ soja (%) couvert par les résidus de récolte
			En 2020	
			En 2019	
			En 2018	
43	Avez-vous semé des plantes de couverture sur vos parcelles de maïs/soja au cours des 3 dernières années ?			
43a	En 2020		1- Oui	2- Non
43b	En 2019		1- Oui	2- Non
43c	En 2018		1- Oui	2- Non
44	Si oui à la question 43	Quelles sont les principales plantes de couverture qui ont été semées sur vos parcelles de maïs et soja au cours des trois dernières années ? Vous pouvez cocher plusieurs cultures.	1-Trèfle rouge 2- Seigle d'automne 3-Luzerne 4-Radis fourrager	5-Vesce velue 6-Ray-grass 7-Trèfle incarnat 8-Autre :
45		Sur quel pourcentage de parcelles de maïs/soja, avez-vous semé des plantes de couverture au cours des trois dernières années ?		Pourcentage des parcelles de maïs/ soja (%) avec plantes de couverture
			En 2020	
			En 2019	
			En 2018	
46	Avez-vous utilisé les intrants agricoles suivants dans vos parcelles de maïs et soja en 2020 ?			
46a	Engrais organiques		1- Oui	2- Non
46b	Engrais chimiques		1- Oui	2- Non
46c	Herbicides		1- Oui	2- Non
46d	Fongicides liquides		1- Oui	2- Non
46e	Insecticides		1- Oui	2- Non
47		Quels sont les principaux herbicides que vous avez utilisés dans vos parcelles de maïs et soja en 2020 ?	1-Glyphosate 2-S-métolachlore 3-Atrazine 4-Mésotrione 5-Imazéthapyr 6-Autre à préciser :	

48	Si oui à la question 46	Quelle est la quantité totale d'intrants agricoles que vous avez utilisés sur l'ensemble de vos parcelles de maïs/soja en 2020 ?		Quantité totale en 2020
			Quantité totale (en kg) d'azote	
			Quantité totale (en kg) de phosphore	
			Quantité totale (en tonne) d'engrais organique	
			Quantité totale (en litre) de Glyphosate	
			Quantité totale (en litre) de carburant	
			Quantité totale (en litre) de S-métolachlore	
			Quantité totale (en litre) de Mésotrione	
			Quantité totale (en litre) de Imazéthapyr	
			Quantité totale (en litre) d'Atrazine	
			Quantité totale (en litre) des fongicides liquides	
			Quantité totale (en litre) des insecticides	
			Quantité totale (en litre) des autres herbicides	
			49	Quels sont les prix de vente de la tonne de maïs et de soja que vous avez obtenus en 2020 ?
Prix de vente de la tonne de maïs (en dollar canadien)				
Prix de vente de la tonne de soja (en dollar canadien)				
50	Quels sont les rendements de maïs et soja (tonne/hectare) que vous avez obtenus dans vos parcelles de maïs et soja en 2020 ?			En 2020
		Rendement de maïs (tonne/hectare)		
		Rendement de soja (tonne/hectare)		
51	Quelle est la quantité totale de mains-d'œuvre (nombre d'heures) que vous avez utilisées pour l'ensemble de vos parcelles de maïs et soja en 2020 ?	.....	

52	<p>Quels sont les coûts variables (dollar/hectare) du maïs et du soja que vous avez obtenus dans vos parcelles de maïs et soja en 2020 ?</p> <p><i>Inclure dans le calcul des coûts variables, le coût des semences, le coût des fertilisants, le coût des pesticides, la location, le coût de la main-d'œuvre, entretien et réparation des tracteurs, des batteuses, des camions, des séchoirs et machines, le coût du carburant et d'électricité, les frais de mise en marché, contributions aux programmes AGRI et ASRA, contribution aux autres programmes, intérêt sur emprunt à court terme et autres frais variables.</i></p>		En 2020						
		Coûts variables de la production de maïs (en dollars/hectare)							
		Coûts variables de la production de soja (en dollars/hectare)							
53	<p>Quel est le montant total reçu du programme AGRI et ASRA couvrant l'ensemble de vos parcelles de maïs et soja en 2020 ? (en dollars)</p>	.....						
54	<p>Utilisez la grille suivante pour caractériser l'état du sol de l'ensemble de vos parcelles de maïs et de soja : 1- absente sur toutes les parcelles ; 2- présente, mais pas intense sur moins de la moitié des parcelles ; 3- présente et intense sur moins de la moitié des parcelles ; 4- présente, mais pas intense sur plus de la moitié des parcelles ; 5- présente et intense sur plus de la moitié des parcelles ; 6- présente, mais pas intense sur toutes les parcelles et 7- présente et intense sur toutes les parcelles. Cochez le numéro qui décrit le plus votre situation.</p>								
54a	L'érosion est :	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
54b	Les mauvaises herbes sont :	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
54c	La compaction du sol est :	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
55	<p>Combien de consultations avez-vous prises auprès des travailleurs de rang en 2020 ?</p> <p><i>Les travailleurs de rang sont des psychologues qui accompagnent les agriculteurs.</i></p>	.....						
56	<p>Combien de plaintes pour odeur ou usage des pesticides avez-vous reçues en 2020 ?</p>	.....						

Partie E : ÉVALUATION CONTINGENTE

Cette section vise à déterminer la valeur des biens et services écosystémiques associés à l'adoption du semis direct sous couverture végétale permanente.

Pour faire face aux problématiques de dégradation des sols et de la santé des cours d'eau en milieu agricole au Québec; le gouvernement souhaite promouvoir la pratique du Semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) comme pratique alternative aux pratiques dominantes à travers un programme baptisé Programme de Restauration de la Qualité des sols et des cours d'eau en milieu agricole (PRQ). Le programme PRQ consiste à payer un montant X dollars par hectare (Y dollars par acre) aux producteurs pour chaque hectare (ou acre) cultivé sous régie SCV. Le SCV promu par le programme PRQ se caractérise par trois piliers essentiels décrits dans le tableau 1 ci-dessous. Les bénéfices associés à la pratique du SCV sont nombreux. En plus de réduire les coûts du carburant, de pesticides et d'engrais, le SCV fournit de nombreux services écosystémiques tels que la réduction des émissions de GES, la réduction de la dégradation des sols, la réduction de la pollution des cours d'eau, la réduction du compactage des sols, la préservation de la biodiversité, l'amélioration de la fertilité des sols au fil des années, etc. Le paiement sera versé directement au compte du producteur après approbation du MAPAQ constatant l'effectivité de la mise en pratique du SCV. Le projet PRQ ne sera implémenté que si à la fois un nombre suffisant de producteurs votent en faveur du projet et que le total des sommes demandées par l'ensemble des participants n'exécède pas la limite budgétaire qui a été allouée pour ce projet.

Piliers	Définition
Semis direct	Les cultures doivent être implantées sur la parcelle sans labour et en maintenant la plupart des résidus de culture à la surface du sol.
Rotation culturale	Les cultures doivent être alternées sur la parcelle d'une année à l'autre impliquant au moins 3 trois cultures commerciales sur trois années successives
Couverture végétale permanente	Les plantes de couvertures doivent être implantées sur la parcelle et elles doivent être présentes sur la parcelle (sous forme morte ou vivante) durant la période de croissance de la culture principale et après la récolte.

N°	Questions	Réponses
57	Pour implémenter le programme, le gouvernement aura besoin de l'approbation des agriculteurs. Dans cette optique, on aimerait savoir si vous voteriez en faveur du programme PRQ.	1-Je vote pour la mise sur pied du projet 2-Je vote contre la mise sur pied du projet
58	Si non à la question 57 Quels sont les motifs du refus du programme PRQ ?	1- Coût des investissements initiaux très élevé 2- Faibles rendements du SCV 3- Faible rentabilité du SCV 4-Difficulté à contrôler les mauvaises herbes 5- complexité de la pratique du SCV

			6- Autre à préciser :
59	Si oui à la question 57	<p>Quel est le montant minimal parmi les montants ci-dessous que vous seriez prêt à accepter en contrepartie de l'adoption du SCV (tous les trois piliers simultanément) sur un hectare de terre ?</p> <p><i>(Répondez à cette question en tenant compte des avantages que procure le SCV, mais aussi des coûts associés à sa mise en pratique)</i></p>	<p>1) 0 à 22 dollars 2) 23 à 44 dollars 3) 45 à 66 dollars 4) 67 à 88 dollars 5) 89 à 110 dollars 6) 111 à 121 dollars 7) 122 à 132 dollars 8) 133 à 143 dollars 9) 144 à 154 dollars 10) 155 à 165 dollars 11) 166 à 176 dollars 12) 177 à 187 dollars 13) 188 à 198 dollars 14) 199 à 220 dollars 15) 221 à 242 dollars 16) 243 à 264 dollars 17) 265 à 308 dollars 18) 309 à 330 dollars 19) 331 à 352 dollars 20) 353 à 374 dollars 21) 375 à 396 dollars 22) 397 à 418 dollars 23) 419 à 440 dollars 24) 441 à 495 dollars 25) 496 à 550 dollars 26) Plus de 550 dollars</p>
60		<p>Quel est le montant minimal exact que vous seriez prêt à accepter en contrepartie de l'adoption du SCV (tous les trois piliers simultanément) sur un hectare de terre ?</p> <p><i>(Répondez à cette question en tenant compte des avantages que procure le SCV, mais aussi des coûts associés à sa mise en pratique)</i></p>	.....
61		<p>Quel serait donc le nombre d'hectares de maïs et soja que vous seriez prêt à cultiver sous la régie SCV dans le cadre du programme PRQ ?</p>	.....

62		<p>S'il vous était proposé d'adopter uniquement le premier pilier du SCV (semis direct ou semis à la volée), quel serait le montant minimal exact que vous seriez prêt à accepter en contrepartie de l'adoption du semis direct (uniquement le premier pilier du SCV) sur un hectare de terre ?</p> <p><i>(Répondez à cette question en tenant compte des avantages que procure le semis direct, mais aussi des coûts associés à sa mise en pratique).</i></p>	.....
63		<p>S'il vous était proposé d'adopter uniquement le troisième pilier du SCV (rotation culturale), quel serait le montant minimal exact que vous seriez prêt à accepter en contrepartie de l'adoption de la rotation culturale (uniquement le troisième pilier du SCV) sur un hectare de terre ?</p> <p><i>(Répondez à cette question en tenant compte des avantages que procure la rotation culturale, mais aussi des coûts associés à sa mise en pratique).</i></p>	.....
64		<p>S'il vous était proposé d'adopter uniquement le deuxième pilier du SCV (couverture végétale permanente), quel serait le montant minimal exact que vous seriez prêt à accepter en contrepartie de l'adoption de la couverture végétale permanente (uniquement le deuxième pilier du SCV) sur un hectare de terre ?</p> <p><i>(Répondez à cette question en tenant compte des avantages</i></p>	.....

		que procure la couverture végétale permanente, mais aussi des coûts associés à sa mise en pratique).	
--	--	--	--

Partie E : PERCEPTIONS DES PRODUCTEURS DE MAÏS ET SOJA

Cette section vise à déterminer la perception des producteurs de maïs et soja sur les rendements potentiels de deux pratiques agricoles observées dans les grandes cultures de maïs et soja au Québec à savoir le Semis Direct sous Couverture végétale permanente (SCV) et l'agriculture de conservation. Cette section comporte deux questions et pour chaque question, il vous est demandé de distribuer un total de 20 pièces aux différentes valeurs possibles du rendement de maïs. Chaque pièce correspondant à une campagne agricole.

Exemple de distribution de pièces

Travail conventionnel du sol													
Rendement du maïs en tonne/hectare	6 et moins	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11 et plus	Total		
Nombre de pièces	5	3	0	1	3	4	2	1	1	0	20		

Cette distribution représente le nombre de campagnes agricoles sur 20 ans qui donneront différents niveaux de rendement selon l'évaluation d'un producteur adoptant un travail conventionnel du sol. Dans le cas ci-dessus, un producteur estimerait qu'il obtiendrait 5 fois un rendement de 6 tonnes à l'hectare, 3 fois un rendement de 6,5 tonnes à l'hectare, 1 fois un rendement de 7,5 tonnes à l'hectare et ainsi de suite sur une période de 20 ans.

65) Selon vous quelle sera la distribution de rendement du maïs obtenue par le semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) ?

semis direct sous couverture végétale permanente (SCV)													
Rendement du maïs en tonne/hectare	6 et moins	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11 et plus	Total		
Nombre de pièces											20		

66) Selon vous quelle sera la distribution de rendement du maïs obtenue par l'agriculture de conservation ?

Agriculture de conservation													
Rendement du maïs en tonne/hectare	6 et moins	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11 et plus	Total		
Nombre de pièces											20		

Partie E : DÉTERMINATION DE L'ATTITUDE VIS-À-VIS DU RISQUE

Cette section vise à identifier votre attitude vis-à-vis du risque. Pour le faire, nous allons vous présenter trois séries de jeux de loteries dont les gains et/ou les pertes varient d'une loterie à une autre. La première série, la deuxième série et la troisième série sont composées respectivement de 14, 14 et 7 jeux de loteries. Pour chaque jeu de loteries, on tire de manière aléatoire une boule dans une urne contenant 10 boules numérotées de 1 à 10; et il vous est demandé de choisir entre les loteries A et B, celle que vous préférez la plus. Par exemple pour le jeu de loteries ci-dessous :

Loterie A	Loterie B
Gagne 1000 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées ou gagne 500 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées.	Gagne 1000 \$ si la boule ① est tirée ou gagne 200 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées.

Si la boule numéro 1 est tirée, ceux qui auront choisi la loterie A, gagneront 1000 dollars tandis que ceux qui auront choisi la loterie B gagneront 7000 dollars.

Si en revanche, la boule numéro 2 ou la boule numéro 3 est tirée, ceux qui auront choisi la loterie A, gagneront toujours 1000 dollars tandis que ceux qui auront choisi la loterie B gagneront 200 dollars.

Si une boule portant le numéro 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 est tirée, ceux qui auront choisi la loterie A, gagneront 500 dollars tandis que ceux qui auront choisi la loterie B gagneront 200 dollars.

NB : Ce jeu de loteries n'est qu'illustratif afin de vous permettre de mieux comprendre le fonctionnement des jeux de loteries.

Quelle loterie préférez-vous entre les loteries A et B ? (Cochez votre choix)

Série 1

N°	Loterie A	Loterie B
67	Gagne 400 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées Gagne 100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 680 \$ si la boule ① est tirée Gagne 50 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
68	Gagne 400 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées Gagne 100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 750 \$ si la boule ① est tirée Gagne 50 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
69	Gagne 400 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées Gagne 100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 830 \$ si la boule ① est tirée Gagne 50 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>

79	Gagne 100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées.	Gagne 50 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
80	Gagne 400 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées Gagne 100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 17000 \$ si la boule ① est tirée. Gagne 50 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>

Série 2

N°	Loterie A	Loterie B
81	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 540 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
82	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 560 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
83	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 580 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
84	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 600 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
85	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 620 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
86	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 650 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
87	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 680 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées

		Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
88	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 720 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
89	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 770 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
90	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 830 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
91	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 900 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
92	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 1000 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
93	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 1100 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>
94	Gagne 400 \$ si les boules ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 300 \$ si la boule ① est tirée. <input type="checkbox"/>	Gagne 1300 \$ si les boules ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées Gagne 50 \$ si les boules ① ② ③ sont tirées. <input type="checkbox"/>

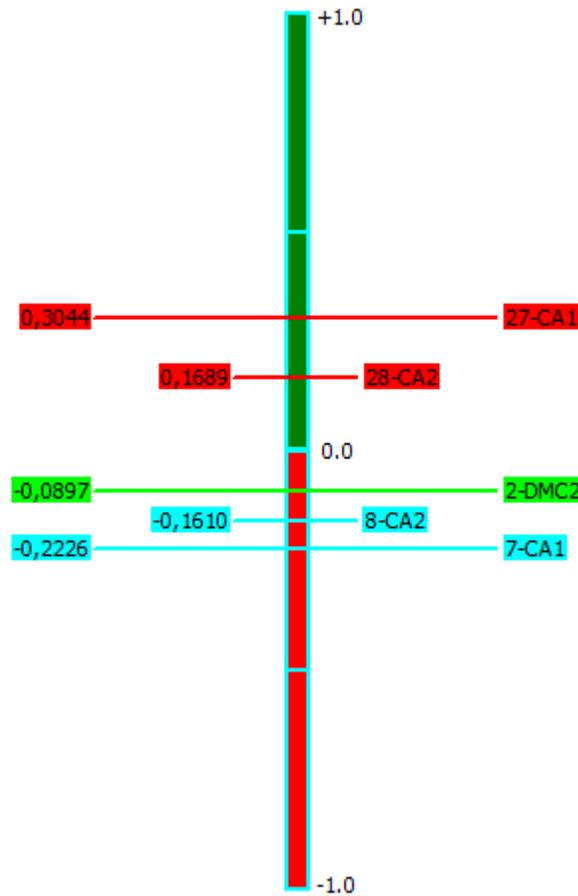
Série 3

N°	Loterie A	Loterie B
95	Gagne 250 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 40 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 210 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>

96	Gagne 40 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 40 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 210 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
97	Gagne 10 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 40 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 210 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
98	Gagne 10 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 40 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 160 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
99	Gagne 10 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 80 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 160 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
100	Gagne 10 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 80 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 140 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>
101	Gagne 10 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 80 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>	Gagne 300 \$ si les boules ① ② ③ ④ ⑤ sont tirées Perd 110 \$ si les boules ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ sont tirées. <input type="checkbox"/>

ANNEXE M

GLOBAL FINAL RANKING OF AGRICULTURAL PRACTICES WITH REDUCED PRIME PAID FOR BIOLOGICAL PRODUCTS



CA: Conservation agriculture, DMC: Direct seeding mulch-based cropping system.

BIBLIOGRAPHIE

- Abadi Ghadim, A. K. (2005). Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*, 33, 1-9.
- Abdulai, A. N. (2016). Impact of conservation agriculture technology on household welfare in Zambia. *Agricultural Economics*, 47(6), 729-741. doi: 10.1111/agec.12269
- Adegbola, P. et Gardebroek, C. (2007). The effect of information sources on technology adoption and modification decisions. *Agricultural Economics*, 37, 55–65.
- Adrian, A. M., Norwood, S. H. et Mask, P. L. (2005). Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48(3), 256-271. doi: 10.1016/j.compag.2005.04.004
- Adusumilli, N. et Wang, H. (2019). Conservation Adoption Among Owners and Tenant Farmers in the Southern United States. *Agriculture*, 9(3). doi: 10.3390/agriculture9030053
- AFD. (2006). *Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV)*. France : Agence Française de Développement.
- Afshar, R. K. et Dekamin, M. (2022). Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. *Journal of Cleaner Production*, 351. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131508
- Agomoh, I. V., Drury, C. F., Yang, X., Phillips, L. A. et Reynolds, W. D. (2021). Crop rotation enhances soybean yields and soil health indicators. *Soil Science Society of America Journal*, 85(4), 1185-1195. doi: 10.1002/saj2.20241
- Ajzen, I. (1991). The Theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Ajzen, I. (2005). *Attitudes, personality and behavior* (2 éd.) McGraw-Hill Education (UK).
- Al Shamsi, K. B., Guarnaccia, P., Cosentino, S., Leonardi, C., Caruso, P., Stella, G. et Timpanaro, G. (2019). Analysis of Relationships and Sustainability Performance in Organic Agriculture in the United Arab Emirates and Sicily (Italy). *Resources*, 8(1). doi: 10.3390/resources8010039

- Awada, L., Lindwall, C. W. et Sonntag, B. (2014). The development and adoption of conservation tillage systems on the Canadian Prairies. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 47-65. doi: 10.1016/s2095-6339(15)30013-7
- Bausch, J. C., Bojórquez-Tapia, L. et Eakin, H. (2014). Agro-environmental sustainability assessment using multicriteria decision analysis and system analysis. *Sustainability Science*, 9(3), 303-319. doi: 10.1007/s11625-014-0243-y
- Bavorová, M., Unay-Gailhard, I., Ponkina, E. V. et Pilařová, T. (2020). How sources of agriculture information shape the adoption of reduced tillage practices? *Journal of Rural Studies*, 79, 88-101. doi: 10.1016/j.jrurstud.2020.08.034
- Berbec, A. K., Feledyn-Szewczyk, B., Thalmann, C., Wyss, R., Grenz, J., Kopiński, J., . . . Radzikowski, P. (2018). Assessing the Sustainability Performance of Organic and Low-Input Conventional Farms from Eastern Poland with the RISE Indicator System. *Sustainability*, 10(6). doi: 10.3390/su10061792
- Bocquého, G., Jacquet, F. et Reynaud, A. (2014). Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics*, 41(1), 135-172. doi: 10.1093/erae/jbt006
- Brans, J. P. et De Smet, Y. (2016). PROMETHEE METHODS. Dans S. Greco, M. Ehrgott et J. R. Figueira (dir.), *Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Surveys* (vol. 233, chap. 1).
- Brans, J. P. et Mareschal, B. (1990a). THE PROMETHEE METHODS FOR MCDM; THE PROMCALC, GAIA AND BANKADVISER SOFTWARE. Dans *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (Carlos A. Bana e Costa éd.). Lisbon, Portugal : Springer-Verlag.
- Brans, J. P. et Mareschal, B. (1990b). THE PROMETHEE METHODS FOR MCDM; THE PROMCALC, GAIA AND BANKADVISER SOFTWARE. Dans *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (Carlos A. Bana e Costa éd.). Lisbon, Portugal : Springer-Verlag.
- Brennan, M., Hennessy, T., Meredith, D. et Dillon, E. (2022, Apr). Weather, Workload and Money: Determining and Evaluating Sources of Stress for Farmers in Ireland. *J Agromedicine*, 27(2), 132-142. doi: 10.1080/1059924X.2021.1988020
- Caffaro, F., Micheletti Cremasco, M., Roccato, M. et Cavallo, E. (2020). Drivers of farmers' intention to adopt technological innovations in Italy: The role of information sources, perceived usefulness, and perceived ease of use. *Journal of Rural Studies*, 76, 264-271. doi: 10.1016/j.jrurstud.2020.04.028

- Caillet, R. (2003). *Analyse multicritère : Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie*. Montréal : Centreinteruniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO).
- Callaci-Trottier, D. (2019). *L'adoption de l'agriculture de conservation au Brésil : Construction d'un indice composite pour les états de Santa Catarina et du Paraná* (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal, Québec.
- Carter, H. O. (1989). Agricultural sustainability: An overview and research assessment. *California Agriculture*, 43(3), 16-18.
- Chabert, A. et Sarthou, J.-P. (2017). Practices of conservation agriculture prevail over cropping systems and landscape heterogeneity in understanding the ecosystem service of aphid biocontrol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 249, 70-79. doi: 10.1016/j.agee.2017.08.005
- Chandini, Kumar, R., Kumar, R. et Prakash, O. (2019). The Impact of Chemical Fertilizers on Our Environment and Ecosystem. Dans *Research Trends in Environmental Sciences* (vol. 2, chap. 5).
- Checkland, P. B. (1989). Soft Systems Methodology. *Human Systems Management* 8, 17.
- Cinelli, M., Coles, S. R. et Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46, 138-148. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.06.011
- Clark, M. et Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6). doi: 10.1088/1748-9326/aa6cd5
- Conyers, M., van der Rijt, V., Oates, A., Poile, G., Kirkegaard, J. et Kirkby, C. (2019). The strategic use of minimum tillage within conservation agriculture in southern New South Wales, Australia. *Soil and Tillage Research*, 193, 17-26. doi: 10.1016/j.still.2019.05.021
- Corbeels, M., Scopel, E., Cardoso, A., Bernoux, M., Douzet, J.-M. et Neto, M. S. (2006). Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. *Global Change Biology*, 12(9), 1773-1787. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01233.x
- Craheix, D., Angevin, F., Doré, T. et de Tourdonnet, S. (2016). Using a multicriteria assessment model to evaluate the sustainability of conservation agriculture at the cropping system level in France. *European Journal of Agronomy*, 76, 75-86. doi: 10.1016/j.eja.2016.02.002

- D'Ambrosio, E., De Girolamo, A. M. et Rulli, M. C. (2018). Assessing sustainability of agriculture through water footprint analysis and in-stream monitoring activities. *Journal of Cleaner Production*, 200, 454-470. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.229
- D'Emden, F. H., Llewellyn, R. S. et Burton, M. P. (2008). Factors influencing adoption of conservation tillage in Australian cropping regions. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 52(2), 169-182. doi: 10.1111/j.1467-8489.2008.00409.x
- Dai, Q. et Cheng, K. (2022). What Drives the Adoption of Agricultural Green Production Technologies? An Extension of TAM in Agriculture. *Sustainability*, 14(21). doi: 10.3390/su142114457
- Davey, K. A. et Furtan, W. H. (2008). Factors That Affect the Adoption Decision of Conservation Tillage in the Prairie Region of Canada. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 56, 1257–1275.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3). doi: 10.2307/249008
- Daxini, A., O'Donoghue, C., Ryan, M., Buckley, C., Barnes, A. P. et Daly, K. (2018, Oct 15). Which factors influence farmers' intentions to adopt nutrient management planning? *J Environ Manage*, 224, 350-360. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.07.059
- de Groot, R. S., Wilson, M. A. et Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- De Olde, E. M., Bokkers, E. A. M. et De Boer, I. J. M. (2017). The Choice of the Sustainability Assessment Tool Matters: Differences in Thematic Scope and Assessment Results. *Ecological Economics*, 136, 77-85. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.02.015
- Despotović, J., Rodić, V. et Caracciolo, F. (2019). Factors affecting farmers' adoption of integrated pest management in Serbia: An application of the theory of planned behavior. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1196-1205. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.149
- DeVincentis, A. J., Solis, S. S., Bruno, E. M., Leavitt, A., Gomes, A., Rice, S. et Zaccaria, D. (2020, May 1). Using cost-benefit analysis to understand adoption of winter cover cropping in California's specialty crop systems. *J Environ Manage*, 261, 110205. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110205
- Diaz-Balteiro, L., González-Pachón, J. et Romero, C. (2017). Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 607-616. doi: 10.1016/j.ejor.2016.08.075

- Djellal, F. et Gallouj, F. (2017). Les lois de l'imitation et de l'invention : Gabriel tarde et l'économie évolutionniste de l'innovation. *Presses de Sciences Po | « Revue économique », 68(4), 28.*
- Dubey, A. et Lal, R. (2009). Carbon Footprint and Sustainability of Agricultural Production Systems in Punjab, India, and Ohio, USA. *Journal of Crop Improvement, 23(4), 332-350.* doi: 10.1080/15427520902969906
- Dupras, J., Laurent-Lucchetti, J., Revéret, J.-P. et DaSilva, L. (2018). Using contingent valuation and choice experiment to value the impacts of agri-environmental practices on landscapes aesthetics. *Landscape Research, 43(5), 679-695.* doi: 10.1080/01426397.2017.1332172
- Edjossan-Sossou, A. M., Galvez, D., Deck, O., Al Heib, M., Verdel, T., Dupont, L., . . . Morel, L. (2020). Sustainable risk management strategy selection using a fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 45.* doi: 10.1016/j.ijdr.2020.101474
- Fallah-Alipour, S., Boshraadi, H. M., Mehrjerdi, M. R. Z. et Hayati, D. (2018). A Framework for Empirical Assessment of Agricultural Sustainability: The Case of Iran. *Sustainability, 10(12).* doi: 10.3390/su10124823
- FAO. (2014). *SAFA guidelines version 3.0* Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Feather, P. M. et Amacher, G. S. (1994). Role of information in the adoption of best management practices for water quality improvement. *Agricultural Economics, 11, 159-170.*
- Feder, G. et Slade, R. (1984). The Acquisition of Information and the Adoption of New Technology. *American Journal of Agricultural Economics, 66(3), 312–320.*
- Fishbein, M. et Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention and Behavior : An Introduction to Theory and Research.* Addison-Wesley Publishing Compagny .:
- Fisher, M., Holden, S. T., Thierfelder, C. et Katengeza, S. P. (2018). Awareness and adoption of conservation agriculture in Malawi: what difference can farmer-to-farmer extension make? *International Journal of Agricultural Sustainability, 16(3), 310-325.* doi: 10.1080/14735903.2018.1472411
- FLC. (2020). *Étude sur la compétitivité des producteurs de grains du Québec. Préparé pour le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).* Forest Lavoie Conseil.
- Foguesatto, C. R., Borges, J. A. R. et Machado, J. A. D. (2020, Aug 10). A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide. *Sci Total Environ, 729, 138831.* doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138831

- Forman, E. et Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 108, 5.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Boston: Pitman.
- Gagnon, B., Pouleur, S., Lafond, J., Parent, G. et Pageau, D. (2019). Agronomic and Economic Benefits of Rotating Corn with Soybean and Spring Wheat under Different Tillage in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 111(6), 3109-3118. doi: 10.2134/agronj2018.10.0653
- Gasser, M.-O., Bossé, C., Clément, C.-C., Bernard, C., Grenon, L., Mathieu, J.-B. et Tremblay, M.-È. (2023). *Rapport 1 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : État de santé des principales séries de sols cultivées. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)*. IRDA.
- Getahun, W., Haji, J., Mehare, A. et Zemedu, L. (2023). Drivers of income diversification among rural households in the Ethiopian central highlands. *Food and Energy Security*, 12(3). doi: 10.1002/fes3.443
- Ghazalian, P. L., Larue, B. et West, G. E. (2009). Best Management Practices to Enhance Water Quality Who is Adopting Them Journal of Agricultural and Applied Economics, 41,3(December 2009).pdf>. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(3), 663–682.
- Giroux, I. (2022). *Présence de pesticides dans l'eau au Québec: Portrait et tendances dans les zones de maïs et soya – 2018 à 2020*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de la qualité des milieux aquatiques :
- Giuliano, S., Ryan, M. R., Véricel, G., Rametti, G., Perdrieux, F., Justes, E. et Alletto, L. (2016). Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: A multi-criteria assessment. *European Journal of Agronomy*, 76, 160-175. doi: 10.1016/j.eja.2015.12.016
- Gomez-Limon, J. A. et Riesgo, L. (2009, Aug). Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *J Environ Manage*, 90(11), 3345-3362. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.05.023
- Gómez-Limón, J. A. et Sanchez-Fernandez, G. (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*, 69(5), 1062-1075. doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.11.027
- Grabowski, P. P. et Kerr, J. M. (2013). Resource constraints and partial adoption of conservation agriculture by hand-hoe farmers in Mozambique. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 12(1), 37-53. doi: 10.1080/14735903.2013.782703

- Grenz, J., Mainiero, R., Schoch, M., Sereke, F., Stalder, S., Thalmann, C. et Wyss, R. (2016). *RISE 3.0 - Manual Sustainability themes and indicators*. School of Agricultural, Forest and Food Sciences (Bern University of Applied Sciences) :.
- Grenz, J., thalmann, C., Stämpfli, A., Studer, C. et Häni, F. (2009). RISE – a method for assessing the sustainability of agricultural production at farm level. *Rural Development News*, 5.
- Guay, J.-F. (2016). *Contributions méthodologiques à la modélisation intégrée pour la planification territoriale et environnementale*. Université du Québec à Montréal.
- Guay, J.-F. et Waaub, J.-P. (2015). Application of a territorial soft system approach for conceptual modeling of an agroecosystem. *Environment Systems and Decisions*, 35(3), 363-374. doi: 10.1007/s10669-015-9536-7
- Guay, J.-F. et Waaub, J.-P. (2019). SOMERSET-P: a GIS-based/MCDA platform for strategic planning scenarios' ranking and decision-making in conflictual socioecosystem. *EURO Journal on Decision Processes*, 7(3-4), 301-325. doi: 10.1007/s40070-019-00106-4
- Halde, C., Gagné, S., Charles, A. et Lawley, Y. (2017). Organic No-Till Systems in Eastern Canada: A Review. *Agriculture*, 7(4). doi: 10.3390/agriculture7040036
- Häni, F., Braga, F., Stämpfli, A., Keller, T., Fischer, M. et Porsche, H. (2003). RISE, a Tool for Holistic Sustainability Assessment at the Farm Level. *International Food and Agribusiness Management Review*, 6(4), 13.
- Häni, F., Gerber, T., Stämpfli, A., Porsche, H., Thalmann, C. et Studer, C. (2006). An Evaluation of Tea Farms in Southern India with the Sustainability Assessment Tool RISE.
- Hansen, J. W. (1996). Is Agricultural Sustainability a Useful Concept? *Agricultural Systems*, 50, 27.
- Harwood, R. R. (1990). A history of sustainable agriculture. Dans C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller et G. House (dir.), *Sustainable Agricultural Systems*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data : Soil and Water Conservation Society.
- Henning-Smith, C., Alberth, A., Bjornestad, A., Becot, F. et Inwood, S. (2022, Jan). Farmer Mental Health in the US Midwest: Key Informant Perspectives. *J Agromedicine*, 27(1), 15-24. doi: 10.1080/1059924X.2021.1893881

- Hermelin-Burnol, M. et Preux, T. (2021). Proximité entre riverains et pesticides en territoire de grandes cultures. Visibilité et invisibilité des micro-adaptations agricoles. *Vertigo*, (Volume 21 numéro 3). doi: 10.4000/vertigo.34055
- Higgins, V., Love, C. et Dunn, T. (2018). Flexible adoption of conservation agriculture principles: practices of care and the management of crop residue in Australian mixed farming systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 17(1), 49-59. doi: 10.1080/14735903.2018.1559526
- Hobbs, P. R., Sayre, K. et Gupta, R. (2008, Feb 12). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 363(1491), 543-555. doi: 10.1098/rstb.2007.2169
- Hou, L., Liu, P., Huang, J. et Deng, X. (2020). The influence of risk preferences, knowledge, land consolidation, and landscape diversification on pesticide use. *Agricultural Economics*, 51(5), 759-776. doi: 10.1111/agec.12590
- Hyland, J. J., Heanue, K., McKillop, J. et Micha, E. (2018). Factors underlying farmers' intentions to adopt best practices: The case of paddock based grazing systems. *Agricultural Systems*, 162, 97-106. doi: 10.1016/j.agry.2018.01.023
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* International Organization for Standardization.
- ISQ et MAPAQ. (2022). *Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec* Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- ISQ et MAPAQ. (2019). *Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec* : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).
- Janker, J., Mann, S. et Rist, S. (2018). What is Sustainable Agriculture? Critical Analysis of the International Political Discourse. *Sustainability*, 10(12). doi: 10.3390/su10124707
- Jat, M. L., Chakraborty, D., Ladha, J. K., Rana, D. S., Gathala, M. K., McDonald, A. et Gerard, B. (2020). Conservation agriculture for sustainable intensification in South Asia. *Nature Sustainability*, 3(4), 336-343. doi: 10.1038/s41893-020-0500-2
- Jin, J., Xuhong, T., Wan, X., He, R., Kuang, F. et Ning, J. (2020). Farmers' risk aversion, loss aversion and climate change adaptation strategies in Wushen Banner, China. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1-14. doi: 10.1080/09640568.2020.1742098
- Jones, S. K., Rees, R. M., Skiba, U. M. et Ball, B. C. (2005). Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Global and Planetary Change*, 47(2-4), 201-211. doi: 10.1016/j.gloplacha.2004.10.011

- Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S. et Lebailly, P. (2017). Organic Farming and Small-Scale Farmers: Main Opportunities and Challenges. *Ecological Economics*, 132, 144-154. doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.10.016
- Kagoya, S., Paudel, K. P. et Daniel, N. L. (2018, Feb). Awareness and Adoption of Soil and Water Conservation Technologies in a Developing Country: A Case of Nabajuzi Watershed in Central Uganda. *Environ Manage*, 61(2), 188-196. doi: 10.1007/s00267-017-0967-4
- Kahneman, D. et Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-292.
- Kara, E., Ribaud, M. et Johansson, R. C. (2008, Sep). On how environmental stringency influences adoption of best management practices in agriculture. *J Environ Manage*, 88(4), 1530-1537. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.07.029
- Karlen, D. L., Hurley, E. G., Andrews, S. S., Cambardella, C. A., Meek, D. W., Duffy, M. D. et Mallarino, A. P. (2006). Crop Rotation Effects on Soil Quality at Three Northern Corn/Soybean Belt Locations. *Agronomy Journal*, 98(3), 484-495. doi: 10.2134/agronj2005.0098
- Kassam, A., Friedrich, T. et Derpsch, R. (2018). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29-51. doi: 10.1080/00207233.2018.1494927
- Kassam, A., Friedrich, T. et Derpsch, R. (2022). Successful Experiences and Lessons from Conservation Agriculture Worldwide. *Agronomy*, 12(4). doi: 10.3390/agronomy12040769
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. et Pretty, J. (2011). The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(4), 292-320. doi: 10.3763/ijas.2009.0477
- Kassie, M., Teklewold, H., Marennya, P., Jaleta, M. et Erenstein, O. (2015). Production Risks and Food Security under Alternative Technology Choices in Malawi: Application of a Multinomial Endogenous Switching Regression. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3), 640-659. doi: 10.1111/1477-9552.12099
- Khonje, M. G., Manda, J., Alene, A. D. et Kassie, M. (2015). Analysis of Adoption and Impacts of Improved Maize Varieties in Eastern Zambia. *World Development*, 66, 695-706. doi: 10.1016/j.worlddev.2014.09.008
- Khonje, M. G., Manda, J., Mkandawire, P., Tufa, A. H. et Alene, A. D. (2018). Adoption and welfare impacts of multiple agricultural technologies: evidence from eastern Zambia. *Agricultural Economics*, 49(5), 599-609. doi: 10.1111/agec.12445

King, F. H. (1911). *Farmers of Forty Centuries*. Blackmask .

Kirchmann, H., Kätterer, T., Bergström, L., Börjesson, G. et Bolinder, M. A. (2016). Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research*, 186, 99-106. doi: 10.1016/j.fcr.2015.11.006

Kirkegaard, J. A., Conyers, M. K., Hunt, J. R., Kirkby, C. A., Watt, M. et Rebetzke, G. J. (2014). Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 133-145. doi: 10.1016/j.agee.2013.08.011

Knowler, D. et Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32(1), 25-48. doi: 10.1016/j.foodpol.2006.01.003

Kolady, D., Zhang, W., Wang, T. et Ulrich-Schad, J. (2020). Spatially Mediated Peer Effects in the Adoption of Conservation Agriculture Practices. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 53(1), 1-20. doi: 10.1017/aae.2020.24

Korucu, T., Shipitalo, M. J. et Kaspar, T. C. (2018). Rye cover crop increases earthworm populations and reduces losses of broadcast, fall-applied, fertilizers in surface runoff. *Soil and Tillage Research*, 180, 99-106. doi: 10.1016/j.still.2018.03.004

Król-Badziak, A., Pishgar-Komleh, S. H., Rozakis, S. et Księżak, J. (2021). Environmental and socio-economic performance of different tillage systems in maize grain production: Application of Life Cycle Assessment and Multi-Criteria Decision Making. *Journal of Cleaner Production*, 278. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123792

Król, A., Księżak, J., Kubińska, E. et Rozakis, S. (2018). Evaluation of Sustainability of Maize Cultivation in Poland. A Prospect Theory—PROMETHEE Approach. *Sustainability*, 10(11). doi: 10.3390/su10114263

Kunzekweguta, M., Rich, K. M. et Lyne, M. C. (2017). Factors affecting adoption and intensity of conservation agriculture techniques applied by smallholders in Masvingo district, Zimbabwe. *Agrekon*, 56(4), 330-346. doi: 10.1080/03031853.2017.1371616

Lal, R. (2018). Sustainable intensification of China's agroecosystems by conservation agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 1-12. doi: 10.1016/j.iswcr.2017.11.001

Landais, E. (1998). Agriculture durable: les fondements d'un nouveau contrat social. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, (33).

- Lasley, P., Duffy, M., Kettner, K. et Chase, C. (1990). Factors affecting farmers' use of practices to reduce commercial fertilizers and pesticides. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45(1), 132-136
- Lee, L. K. et Stewart, W. H. (1983). Landownership and the Adoption of Minimum Tillage. *American Journal of Agricultural Economics*, 65(2), 256-264.
- Leknoi, U., Rosset, P. et Likitlersuang, S. (2023). Multi-criteria social sustainability assessment of highland maize monoculture in Northern Thailand using the SAFA tool. *Resources, Environment and Sustainability*, 13. doi: 10.1016/j.resenv.2023.100115
- Li, R., Li, Q. et Pan, L. (2020). Review of organic mulching effects on soil and water loss. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(1), 136-151. doi: 10.1080/03650340.2020.1718111
- Liu, E. M. (2013). Time to Change What to Sow: Risk Preferences and Technology Adoption Decisions of Cotton Farmers in China. *Review of Economics and Statistics*, 95(4), 1386-1403. doi: 10.1162/REST_a_00295
- Llewellyn, R. S., D'Emden, F. H. et Kuehne, G. (2012). Extensive use of no-tillage in grain growing regions of Australia. *Field Crops Research*, 132, 204-212. doi: 10.1016/j.fcr.2012.03.013
- Loaiza Puerta, V., Pujol Pereira, E. I., Wittwer, R., van der Heijden, M. et Six, J. (2018). Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research*, 180, 1-9. doi: 10.1016/j.still.2018.02.007
- Lupwayi, N. Z., Larney, F. J., Blackshaw, R. E., Kanashiro, D. A., Pearson, D. C. et Petri, R. M. (2017). Pyrosequencing reveals profiles of soil bacterial communities after 12 years of conservation management on irrigated crop rotations. *Applied Soil Ecology*, 121, 65-73. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.09.031
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K. et Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 307-317. doi: 10.1016/s0377-2217(03)00153-x
- MacRae, R. J., Frick, B. et Martin, R. C. (2007). Economic and social impacts of organic production systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 87, 8.
- Manda, J., Alene, A. D., Gardebroeck, C., Kassie, M. et Tembo, G. (2016). Adoption and Impacts of Sustainable Agricultural Practices on Maize Yields and Incomes: Evidence from Rural Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 67(1), 130-153. doi: 10.1111/1477-9552.12127

- Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P. et Ndengu, G. (2017). Awareness and adoption of land, soil and water conservation practices in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 122-129. doi: 10.1016/j.iswcr.2017.04.003
- Mango, N., Siziba, S. et Makate, C. (2017). The impact of adoption of conservation agriculture on smallholder farmers' food security in semi-arid zones of southern Africa. *Agriculture & Food Security*, 6(1). doi: 10.1186/s40066-017-0109-5
- Mao, H., Zhou, L., Ifft, J. et Ying, R. (2019). Risk preferences, production contracts and technology adoption by broiler farmers in China. *China Economic Review*, 54, 147-159. doi: 10.1016/j.chieco.2018.10.014
- MAPAQ. (1990). *Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec* (90-130156). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- MAPAQ. (2020). *Portrait diagnostique de l'industrie des grains au Québec* : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Martin-Guay, M. O., Paquette, A., Dupras, J. et Rivest, D. (2018, Feb 15). The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Sci Total Environ*, 615, 767-772. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.024
- MELCCFP. (2023). *GES 1990-2021 : Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2021 et leur évolution depuis 1990*. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faune et des Parcs.
- Mendoza, T. C. (2004). Evaluating the Benefits of Organic Farming in Rice Agroecosystems in the Philippines. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(2), 93-115. doi: 10.1300/J064v24n02_09
- Michels, M., von Hobe, C.-F., Weller von Ahlefeld, P. J. et Musshoff, O. (2021). The adoption of drones in German agriculture: a structural equation model. *Precision Agriculture*, 22(6), 1728-1748. doi: 10.1007/s11119-021-09809-8
- Michler, J. D., Baylis, K., Arends-Kuenning, M. et Mazvimavi, K. (2019, Jan). Conservation agriculture and climate resilience. *J Environ Econ Manage*, 93, 148-169. doi: 10.1016/j.jeem.2018.11.008
- Mohan, S. (2020). Risk aversion and certification: Evidence from the Nepali tea fields. *World Development*, 129. doi: 10.1016/j.worlddev.2020.104903

- Montt, G. et Luu, T. (2019). Does Conservation Agriculture Change Labour Requirements? Evidence of Sustainable Intensification in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 556-580. doi: 10.1111/1477-9552.12353
- Morrison, M. J., Cober, E. R., Gregorich, E., Voldeng, H. D., Ma, B. et Topp, G. C. (2017). Tillage and crop rotation effects on the yield of corn, soybean and wheat in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. doi: 10.1139/cjps-2016-0407
- Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, 158(3), 662-677. doi: 10.1016/s0377-2217(03)00369-2
- Munda, G. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis and Sustainable Development*. In *Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys*. International. Dans G. Salvatore (dir.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (p. 35).
- Murungu, F. S., Chiduza, C., Muchaonyerwa, P. et Mkeni, P. N. S. (2011). Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm-temperate climate of South Africa. *Soil and Tillage Research*, 112(1), 58-65. doi: 10.1016/j.still.2010.11.005
- Mutyasira, V., Hoag, D., Pendell, D., Manning, D. T. et Berhe, M. (2018). Assessing the relative sustainability of smallholder farming systems in Ethiopian highlands. *Agricultural Systems*, 167, 83-91. doi: 10.1016/j.agsy.2018.08.006
- Mutyasira, V., Hoag, D., Pendell, D. et Yildiz, F. (2018). The adoption of sustainable agricultural practices by smallholder farmers in Ethiopian highlands: An integrative approach. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1). doi: 10.1080/23311932.2018.1552439
- Neher, D. (1992). Ecological Sustainability in Agricultural Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2(3), 51-61. doi: 10.1300/J064v02n03_05
- Neill, S. P. et Lee, D. R. (2001). Explaining the Adoption and Disadoption of Sustainable Agriculture The Case of Cover Crops in Northern Honduras. *Economic Development and Cultural Change*, 49(4), 793-820.
- Ng'ombe, J., Kalinda, T., Tembo, G. et Kuntashula, E. (2014). Econometric Analysis of the Factors that Affect Adoption of Conservation Farming Practices by Smallholder Farmers in Zambia. *Journal of Sustainable Development*, 7(4). doi: 10.5539/jsd.v7n4p124
- Nigussie, Y., van der Werf, E., Zhu, X., Simane, B. et van Ierland, E. C. (2018). Evaluation of Climate Change Adaptation Alternatives for Smallholder Farmers in the Upper Blue-Nile Basin. *Ecological Economics*, 151, 142-150. doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.05.006

- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K. et Arumí, J. L. (2019). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98, 19-28. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.10.048
- NRC. (2010). *Toward Sustainable Agricultural Systems in the 21st Century*. Washington, DC : National Research Council. The National Academies Press. doi: doi:10.17226/12832
- Pandey, D. et Agrawal, M. (2014). Carbon Footprint Estimation in the Agriculture Sector. Dans *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1* (chap. Chapter 2, p. 25-47).
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F. et Wilkinson, R. (2006). Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(11), 1407-1424. doi: <https://doi.org/10.1071/EA05037>
- Papke, L. E. et Wooldridge, J. M. (1996). Econometric methods for fractional response variables with an application to 401(k) plan participation rates. *Journal of Applied Econometrics*, 11(6), 619-632. doi: 10.1002/(sici)1099-1255(199611)11:6<619::Aid-jae418>3.0.Co;2-1
- Parcerisas, L. et Dupras, J. (2018). From mixed farming to intensive agriculture: energy profiles of agriculture in Quebec, Canada, 1871–2011. *Regional Environmental Change*, 18(4), 1047-1057. doi: 10.1007/s10113-018-1305-y
- Paré, M. C., Lafond, J. et Pageau, D. (2015). Best management practices in Northern agriculture: A twelve-year rotation and soil tillage study in Saguenay–Lac-Saint-Jean. *Soil and Tillage Research*, 150, 83-92. doi: 10.1016/j.still.2015.01.012
- Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Kumar, B., Yadvinder, S., Pradhan, S., . . . Yadav, O. P. (2016). Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 193, 104-116. doi: 10.1016/j.fcr.2016.03.013
- Parihar, C. M., Yadav, M. R., Jat, S. L., Singh, A. K., Kumar, B., Pradhan, S., . . . Yadav, O. P. (2016). Long term effect of conservation agriculture in maize rotations on total organic carbon, physical and biological properties of a sandy loam soil in north-western Indo-Gangetic Plains. *Soil and Tillage Research*, 161, 116-128. doi: 10.1016/j.still.2016.04.001
- Pashaei Kamali, F., Borges, J. A. R., Meuwissen, M. P. M., de Boer, I. J. M. et Oude Lansink, A. G. J. M. (2017). Sustainability assessment of agricultural systems: The validity of expert opinion and robustness of a multi-criteria analysis. *Agricultural Systems*, 157, 118-128. doi: 10.1016/j.agsy.2017.07.013

- Phillips, W. E. et Veeman, T. S. (1987). Alternative Incentives and Institutions for Water and Soil Conservation. *Canadian Water Resources Journal*, 12(3), 27-33. doi: 10.4296/cwrj1203027
- Piñeiro, V., Arias, J., Dürr, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Kinengyere, A., . . . Torero, M. (2020). A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability*, 3(10), 809-820. doi: 10.1038/s41893-020-00617-y
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linnquist, B. A., van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., . . . van Kessel, C. (2015, Jan 15). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365-368. doi: 10.1038/nature13809
- Poore, J. et Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360(6392), 7. doi: 10.1126/science.aaq0216originally
- Pratibha, G., Srinivas, I., Rao, K. V., Raju, B. M. K., Thyagaraj, C. R., Korwar, G. R., . . . Srinivasarao, C. (2015). Impact of conservation agriculture practices on energy use efficiency and global warming potential in rainfed pigeonpea–castor systems. *European Journal of Agronomy*, 66, 30-40. doi: 10.1016/j.eja.2015.02.001
- Pronovost. (2008). *Agriculture et agroalimentaire : assurer et bâtir l'avenir, Propositions pour une agriculture durable et en santé*. Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois.
- Rabary, B., Sall, S., Letourmy, P., Husson, O., Ralambofetra, E., Moussa, N. et Chotte, J.-L. (2008). Effects of living mulches or residue amendments on soil microbial properties in direct seeded cropping systems of Madagascar. *Applied Soil Ecology*, 39(2), 236-243. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.12.012
- Ramsey, S. M., Bergtold, J. S., Canales, E. et Williams, J. R. (2019). Effects of Farmers' Yield-Risk Perceptions on Conservation Practice Adoption in Kansas. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 44(2), 24.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoche, A., Affholder, F., Rabeharisoa, L. et Corbeels, M. (2017). Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(4). doi: 10.1007/s13593-017-0432-z
- Reckling, M., Albertsson, J., Vermue, A., Carlsson, G., Watson, C. A., Justes, E., . . . Topp, C. F. E. (2022). Diversification improves the performance of cereals in European cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(6). doi: 10.1007/s13593-022-00850-z
- Reganold, J. P. et Wachter, J. M. (2016, Feb 3). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nat Plants*, 2, 15221. doi: 10.1038/nplants.2015.221

- Roberts, M., Hawes, C. et Young, M. (2023, Apr 1). Environmental management on agricultural land: Cost benefit analysis of an integrated cropping system for provision of environmental public goods. *J Environ Manage*, 331, 117306. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117306
- Rodale, R. (1983). Breaking new ground: The search for a sustainable agriculture. . *The Futurist*, 17(1), 6.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. New York : The Free Press.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3 éd.). New York : The Free press.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5 éd.). New York : The Free Press.
- Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., van Wijk, M. T., Rufino, M. C., Nyamangara, J. et Giller, K. E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(4), 657-673. doi: 10.1007/s13593-011-0040-2
- Ryan, B. et Gross, N. C. (1943). The Diffusion of Hybrid Seed Corn in Two Iowa Communities. *Rural Sociology*, 8(1), 10.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Samuel, O., Dion, S., St-Laurent, L. et April, M.-H. (2012). *Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement*. Québec : ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation/ministère du Développement durable, de l’Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec :
- Sarkar, A., Wang, H., Rahman, A., Memon, W. H. et Qian, L. (2022, Jun). A bibliometric analysis of sustainable agriculture: based on the Web of Science (WOS) platform. *Environ Sci Pollut Res Int*, 29(26), 38928-38949. doi: 10.1007/s11356-022-19632-x
- Schaller, N. (1993). The concept of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89-97, 89-97.
- Scopel, E., Douzet, J.-M., Macena da Silva, F.-A., Cardoso, A., Moreira, J. A. A., Findeling, A. et Bernoux, M. (2005). Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la

dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. *Cahiers Agricultures*, 14(1), 5.

Scopel, E., Findeling, A., Guerra, E. C. et Corbeels, M. (2005). Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(4), 425-432. doi: 10.1051/agro:2005041

Seitz, S., Goebes, P., Puerta, V. L., Pereira, E. I. P., Wittwer, R., Six, J., . . . Scholten, T. (2018). Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1). doi: 10.1007/s13593-018-0545-z

Seufert, V., Ramankutty, N. et Foley, J. A. (2012, May 10). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232. doi: 10.1038/nature11069

Sharma, P., Abrol, V. et Sharma, R. K. (2011). Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize–wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. *European Journal of Agronomy*, 34(1), 46-51. doi: 10.1016/j.eja.2010.10.003

Shiferaw, B., Kassie, M., Jaleta, M. et Yirga, C. (2014). Adoption of improved wheat varieties and impacts on household food security in Ethiopia. *Food Policy*, 44, 272-284. doi: 10.1016/j.foodpol.2013.09.012

Siebrecht, N. (2020). Sustainable Agriculture and Its Implementation Gap—Overcoming Obstacles to Implementation. *Sustainability*, 12(9). doi: 10.3390/su12093853

Singh, A. S., Eanes, F. R. et Prokopy, L. S. (2018). Assessing Conservation Adoption Decision Criteria Using the Analytic Hierarchy Process: Case Studies from Three Midwestern Watersheds. *Society & Natural Resources*, 31(4), 503-507. doi: 10.1080/08941920.2017.1413694

Statistics Canada (2017). Table 32-10-0414-01 Organic products, Census of Agriculture, 2011 and 2016. <https://doi.org/10.25318/3210041401-eng>

Statistics Canada (2022a). Table 32-10-0162-01 Land inputs and tillage and seeding practices, Census of Agriculture historical data. <https://doi.org/10.25318/3210016201-eng>

Statistics Canada (2022b). Table 32-10-0363-01 Organic products, Census of Agriculture, 2021. <https://doi.org/10.25318/3210036301-eng>

Statistics Canada. (2023). Table 32-10-0042-01 Estimated areas, yield, production of corn for grain and soybeans, using genetically modified seed, in metric and imperial units. <https://doi.org/10.25318/3210004201-eng>

- Stern, P. C. (2000). Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407-424. doi: 10.1111/0022-4537.00175
- Stern, P. C., Dietz, T., Abel, T. D., Guagnano, G. et Kalof, L. (1999). A Value-Belief-Norm Theory of Support for Social Movements: The Case of Environmentalism. *Human Ecology Review*, 6(2), 17.
- Takam-Fongang, G. M., Kamdem, C. B. et Kane, G. Q. (2019). Adoption and impact of improved maize varieties on maize yields: Evidence from central Cameroon. *Review of Development Economics*, 23(1), 172-188. doi: 10.1111/rode.12561
- Takam Fongang, G. M., Guay, J.-F. et Séguin, C. (2023). A Composite Index Measuring Adoption of Conservation Agriculture among Maize and Soybean Farmers in Québec. *Agronomy*, 13(3). doi: 10.3390/agronomy13030777
- Talukder, B. (2016). *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for Agricultural Sustainability Assessment*. Wilfrid Laurier University, Theses and Dissertations (Comprehensive).
- Talukder, B., Blay-Palmer, A., Hipel, K. et vanLoon, G. (2017). Elimination Method of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A Simple Methodological Approach for Assessing Agricultural Sustainability. *Sustainability*, 9(2). doi: 10.3390/su9020287
- Tambo, J. A. et Mockshell, J. (2018). Differential Impacts of Conservation Agriculture Technology Options on Household Income in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, 151, 95-105. doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.05.005
- Tamini, L. D. (2011). A nonparametric analysis of the impact of agri-environmental advisory activities on best management practice adoption: A case study of Québec. *Ecological Economics*, 70(7), 1363-1374. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.02.012
- Tanaka, T., Camerer, C. F. et Nguyen, Q. (2010). Risk and Time Preferences: Linking Experimental and Household Survey Data from Vietnam. *American Economic Review*, 100(1), 557-571. doi: 10.1257/aer.100.1.557
- Teklewold, H., Kassie, M., Shiferaw, B. et Köhlin, G. (2013). Cropping system diversification, conservation tillage and modern seed adoption in Ethiopia: Impacts on household income, agrochemical use and demand for labor. *Ecological Economics*, 93, 85-93. doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.05.002
- Thapa, R., Mirsky, S. B. et Tully, K. L. (2018, Nov). Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. *J Environ Qual*, 47(6), 1400-1411. doi: 10.2134/jeq2018.03.0107

- Thierfelder, C., Mwila, M. et Rusinamhodzi, L. (2013). Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: Long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil and Tillage Research*, 126, 246-258. doi: 10.1016/j.still.2012.09.002
- Thivierge, M.-N., Parent, D., Bélanger, V., Angers, D. A., Allard, G., Pellerin, D. et Vanasse, A. (2014). Environmental sustainability indicators for cash-crop farms in Quebec, Canada: A participatory approach. *Ecological Indicators*, 45, 677-686. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.05.024
- Thompson, P. B. (2007, 2007/01/01). Agricultural sustainability: what it is and what it is not. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 5(1), 5-16. doi: 10.1080/14735903.2007.9684809
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. et Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *NATURE*, 418, 671-677.
- Tran-Nam, Q. et Tiet, T. (2022, Oct 15). The role of peer influence and norms in organic farming adoption: Accounting for farmers' heterogeneity. *J Environ Manage*, 320, 115909. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115909
- Traoré, N., Landry, R. et Amara, N. (1998). On-Farm Adoption of Conservation Practices The Role of Farm and Farmer Characteristics, Perceptions, and Health Hazards. *Land Economics*, 74(1), 114-127.
- Trigo, A., Marta-Costa, A. et Fragoso, R. (2021). Principles of Sustainable Agriculture: Defining Standardized Reference Points. *Sustainability*, 13(8). doi: 10.3390/su13084086
- Tsakalerou, M., Efthymiadis, D. et Abilez, A. (2022, Sep 7). An intelligent methodology for the use of multi-criteria decision analysis in impact assessment: the case of real-world offshore construction. *Sci Rep*, 12(1), 15137. doi: 10.1038/s41598-022-19554-1
- Tsozué, D., Nghonda, J. P. et Mekem, D. L. (2015). Impact of land management system on crop yields and soil fertility in Cameroon. *Solid Earth*, 6(3), 1087-1101. doi: 10.5194/se-6-1087-2015
- Tubiello, F. N., Karl, K., Flammini, A., Gütschow, J., Obli-Laryea, G., Conchedda, G., . . . Torero, M. (2022). Pre- and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. *Earth System Science Data*, 14(4), 1795-1809. doi: 10.5194/essd-14-1795-2022
- Tversky, A. et Kahneman, D. (1992). Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 27. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00122574>
- Tzouramani, I., Mantziaris, S. et Karanikolas, P. (2020). Assessing Sustainability Performance at the Farm Level: Examples from Greek Agricultural Systems. *Sustainability*, 12(7). doi: 10.3390/su12072929

- Valentin, L., Bernardo, D. J. et Kastens, T. L. (2004). Testing the Empirical Relationship between Best Management Practice Adoption and Farm Profitability. *Review of Agricultural Economics*, 26(4), 489-504. doi: 10.1111/j.1467-9353.2004.00195.x
- Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Biielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Ciudad, V., . . . Peeters, A. (2007). SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120(2-4), 229-242. doi: 10.1016/j.agee.2006.09.006
- Van Hulst, F. J. et Posthumus, H. (2016). Understanding (non-) adoption of Conservation Agriculture in Kenya using the Reasoned Action Approach. *Land Use Policy*, 56, 303-314. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.03.002
- Vanlauwe, B., Wendt, J., Giller, K. E., Corbeels, M., Gerard, B. et Nolte, C. (2014). A fourth principle is required to define Conservation Agriculture in sub-Saharan Africa: The appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity. *Field Crops Research*, 155, 10-13. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.002
- Vastola, A., Zdruli, P., D'Amico, M., Pappalardo, G., Viccaro, M., Di Napoli, F., . . . Romano, S. (2017). A comparative multidimensional evaluation of conservation agriculture systems: A case study from a Mediterranean area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 68, 326-333. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.07.034
- Vecchio, Y., Di Pasquale, J., Del Giudice, T., Pauselli, G., Masi, M. et Adinolfi, F. (2022). Precision farming: what do Italian farmers really think? An application of the Q methodology. *Agricultural Systems*, 201. doi: 10.1016/j.agsy.2022.103466
- Venter, Z. S., Jacobs, K. et Hawkins, H.-J. (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. *Pedobiologia*, 59(4), 215-223. doi: 10.1016/j.pedobi.2016.04.001
- Verch, G., Kächele, H., Höltl, K., Richter, C. et Fuchs, C. (2009). Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany—A field trial from 2002 to 2005. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 16-21. doi: 10.1016/j.still.2008.12.012
- Viana, L. R., Dessureault, P.-L., Marty, C., Loubet, P., Levasseur, A., Boucher, J.-F. et Paré, M. C. (2022). Would transitioning from conventional to organic oat grains production reduce environmental impacts? A LCA case study in North-East Canada. *Journal of Cleaner Production*, 349. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131344
- Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M. et Silva, E. (2017). Overview of Organic Cover Crop-Based No-Tillage Technique in Europe: Farmers' Practices and Research Challenges. *Agriculture*, 7(5). doi: 10.3390/agriculture7050042

- Wackernagel, M. et Rees, W. E. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth* New Society Publishers.
- Wade, T. et Claassen, R. (2017). Modeling No-Till Adoption by Corn and Soybean Producers: Insights into Sustained Adoption. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 49(2), 186-210. doi: 10.1017/aae.2016.48
- Wall, P. C. (2007). Tailoring Conservation Agriculture to the Needs of Small Farmers in Developing Countries. *Journal of Crop Improvement*, 19(1-2), 137-155. doi: 10.1300/J411v19n01_07
- Wang, Z.-b., Chen, J., Mao, S.-c., Han, Y.-c., Chen, F., Zhang, L.-f., . . . Li, C.-d. (2017). Comparison of greenhouse gas emissions of chemical fertilizer types in China's crop production. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1267-1274. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.120
- Ward, P. S., Bell, A. R., Droppelmann, K. et Benton, T. G. (2018). Early adoption of conservation agriculture practices: Understanding partial compliance in programs with multiple adoption decisions. *Land Use Policy*, 70, 27-37. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.10.001
- Ward, P. S., Bell, A. R., Parkhurst, G. M., Droppelmann, K. et Mapemba, L. (2016). Heterogeneous preferences and the effects of incentives in promoting conservation agriculture in Malawi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 67-79. doi: 10.1016/j.agee.2016.02.005
- WCED. (1987). *Our Common Future*. Report of the World Commission on Environment and Development. :
- Wei, Y. P., Chen, D., White, R. E., Willett, I. R., Edis, R. et Langford, J. (2009). Farmers' perception of environmental degradation and their adoption of improved management practices in Alxa, China. *Land Degradation & Development*, 20(3), 336-346. doi: 10.1002/ldr.922
- Yadav, G. S., Das, A., Lal, R., Babu, S., Meena, R. S., Saha, P., . . . Datta, M. (2018). Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice–mustard cropping system. *Journal of Cleaner Production*, 191, 144-157. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.173
- Zahm, F., Alonso Ugaglia, A., Barbier, J.-M., Boureau, H., Del'homme, B., Gafsi, M., . . . Redlingshöfer, B. (2019). Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures*, 28. doi: 10.1051/cagri/2019004
- Zahm, F. et Mouchet, C. (2013). De la responsabilité sociétale d'une exploitation agricole à la mesure de sa performance globale. *Économie et Institutions*, (18-19). doi: 10.4000/ei.516

- Zahm, F., Viaux, P., Vilain, L., Girardin, P. et Mouchet, C. (2008). Assessing farm sustainability with the IDEA method – from the concept of agriculture sustainability to case studies on farms. *Sustainable Development*, 16(4), 271-281. doi: 10.1002/sd.380
- Zeng, D., Alwang, J., Norton, G., Jaleta, M., Shiferaw, B. et Yirga, C. (2018, Mar). Land ownership and technology adoption revisited: Improved maize varieties in Ethiopia. *Land use policy*, 72, 270-279. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.12.047
- Zhang, S., Sun, Z., Ma, W. et Valentinov, V. (2019). The effect of cooperative membership on agricultural technology adoption in Sichuan, China. *China Economic Review*. doi: 10.1016/j.chieco.2019.101334
- Zhang, Y., Sun, Z., Wang, E., Du, G., Feng, C., Zhang, W., . . . Li, L. (2022). Maize/soybean strip intercropping enhances crop yield in rain-fed agriculture under the warming climate: a modeling approach. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(6). doi: 10.1007/s13593-022-00839-8
- Zhao, J., Yang, Y., Zhang, K., Jeong, J., Zeng, Z. et Zang, H. (2020). Does crop rotation yield more in China? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 245. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107659
- Zhong, H., Qing, P. et Hu, W. (2015). Farmers' willingness to participate in best management practices in Kentucky. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(6), 1015-1039. doi: 10.1080/09640568.2015.1052379
- Zuo, A., Wang, J. et Huang, Q. (2020). Willingness to accept compensation for land fallowing: results from a survey of village representatives in Northern China. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(3), 845-866. doi: 10.1111/1467-8489.12379