



MASTER
Espace Rural &
Environnement



*Etablissement Public Local
d'Enseignement et de Formation
Professionnelle Agricoles
de Quétigny-Plombières lès Dijon*

MÉMOIRE DE STAGE

Caractérisation et évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture innovants de Tart-le-Bas du lycée agricole de Quétigny



Maître de stage: Lionel RAYNARD

Hélène MONTAZ

**Tuteur pédagogique: Bernard
NICOLARDOT**

Promotion 2013-2014



**AUTORISATION DE DIFFUSION
D'UN MEMOIRE / RAPPORT DE STAGE
DE MASTER**

L'AUTEUR :

Nom : MONTAZ Prénom : Hélène
Adresse : 1 rue de la maisonnerie 28870 DEVECEY
Adresse électronique : helene.montaz@hotmail.fr

Titre du mémoire / rapport de stage

Caractérisation et évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de cultures innovants de Tart-le-Bas du lycée agricole de Quétigny

Date de soutenance du mémoire / rapport de stage : 25/09/15
Master : mention ETEC Année : 2013/2015
Filière : Espace Rural & Environnement

L'ENTREPRISE D'ACCUEIL DU STAGE :

Dénomination : E.P.L.E.F.P.A. Quétigny - Plombières les Dijon
Adresse : Route du lycée agricole 21110 Tart-le-Bas
Représentée par : Nom : Amel Raynaud
Fonction : Directeur de l'exploitation agricole

L'auteur reconnaît avoir pris connaissance de la Charte de diffusion électronique des mémoires et rapports de stage de Master de l'Université de Bourgogne, et certifie que les ressources tiers non libres de droit, ou pour lesquelles il n'aurait pas acquis les droits afférents pour la reproduction et la représentation sur support électronique, ont été supprimées de son mémoire ou rapport de stage.
Cette autorisation est accordée sans limite de temps, mais peut être supprimée ou modifiée (articles 4 et 7 de la Charte).

L'AUTEUR

☐ Autorise la diffusion de son mémoire / rapport de stage sur intranet uniquement (diffusion en ligne limitée aux personnels et étudiants de l'université)

- ☐ Immédiatement après la soutenance
☐ Après une durée de confidentialité de
☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans

☐ Autorise la diffusion de son mémoire / rapport de stage sur intranet et internet (accès public)

- ☐ Immédiatement après la soutenance
☐ Après une durée de confidentialité de
☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans

☐ N'autorise pas la diffusion de son mémoire / rapport de stage sous forme électronique.

En ce cas, autorise la communication de son mémoire / rapport de stage en version papier à la bibliothèque

☐ Oui ☐ Non

Fait à : Quétigny Le : 01/09/15

Signature :

L'ENTREPRISE

☐ Autorise la diffusion du mémoire / rapport de stage sur intranet uniquement (diffusion en ligne limitée aux personnels et étudiants de l'université)

- ☐ Immédiatement après la soutenance
☐ Après une durée de confidentialité de
☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans

☒ Autorise la diffusion du mémoire / rapport de stage sur intranet et internet (accès public)

- ☒ Immédiatement après la soutenance
☐ Après une durée de confidentialité de
☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans

☐ N'autorise pas la diffusion du mémoire / rapport de stage sous forme électronique

Fait à : Tart-le-Bas Le : 26/09/15

Signature :

Fait en trois exemplaires



Sommaire

Présentation de l'organisme d'accueil
Liste des figures
Liste des tableaux
Remerciement

Introduction.....	1
I / Synthèse bibliographique.....	2
I.1.Bref historique des grands changements du monde agricole.....	2
I.1.1 Les grandes révolutions de l'agriculture.....	2
I.1.2 Prise de conscience des nouveaux enjeux de l'agriculture.....	2
I.2.Contexte actuel.....	2
I.2.1 Notion de durabilité.....	2
I.2.2 Inscription de l'agriculture dans la durabilité.....	3
I.2.3 Définitions.....	4
I.2.4 Les Principaux modes de production actuels.....	5
I.3 Méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures.....	6
II / Contexte de l'étude.....	7
II.1 L'agriculture de la plaine de Dijon.....	7
II.1.1 Les principales cultures.....	7
II.1.2 Contexte climatique.....	7
II.1.3 Contexte pédologique.....	8
II.2 Contexte agro-environnementale.....	9
II.2.1 Qualité de l'eau.....	9
II.2.1.1 Nitrates.....	10
II.2.1.2 Pesticides.....	11
II.2.2.Erosion de la biodiversité présente dans le milieu agricole.....	11
II.2.3 Les pistes d'action.....	12
II.3 La production intégrée.....	12
II.4 Pourquoi évaluer les systèmes de culture.....	13
II.4.1 Programme Ecophyto 2018.....	13
II.4.2 Les Réseaux Mixtes Technologiques (RMT).....	14
II.5 Les objectifs et la problématique de l'étude.....	14
II.6 Présentation du dispositif expérimental de Tart-le-Bas.....	14
II.6.1 Historique et parcellaire.....	14
II.6.2 Stratégies générales de conduite des cultures.....	15
III / Méthodologie.....	16
III.1 Les systèmes évalués.....	16
III.2 Démarche générale d'une évaluation d'un système de culture.....	16
III.3.Détermination d'un système local dominant.....	16
III.3.1 Nécessité d'identifier un système de référence.....	16
III.3.2 Modalités de recherche et d'identification du Système de culture Local Dominant.....	16
III.4.Modalités d'acquisition des données brutes des systèmes de culture de Tart-le-Bas.....	17
III.5.Description des systèmes de cultures évalués.....	17
III.5.1. Système de culture Local Dominant.....	17
III.5.2 Systèmes de culture innovants du site de Tart-le-Bas.....	17
III.5.2.1. Grands Traits des Sdci.....	17
III.5.2.2 Successions des cultures.....	18
III.6.Caractérisation des systèmes de culture.....	18
III.6.1 Présentation de CRITER.....	18
III.6.2 Paramétrage de CRITER.....	19
III.6.3 Choix des indicateurs retenus pour la caractérisation des systèmes de culture.....	20
III.6.3.1 Indicateurs économiques.....	20
III.6.3.2 Indicateurs sociaux.....	21
III.6.3.3 Indicateurs environnementaux.....	21
III.7.Evaluation multicritère des systèmes de culture.....	22
III.7.1. Présentation de la méthode MASC.....	22

III.7.2. L'arbre MASC.....	22
III.7.3. Les critères d'entrée de l'arbre MASC.....	23
III.7.4. Les arbres satellites.....	23
III.7.5. La classification des critères basiques.....	24
III.7.6 La pondération de chaque branche.....	24
III.7.7 Les différents scénarii affectés à l'arbre MASC.....	25
IV / Résultats.....	25
IV.1 Caractérisation des systèmes de culture.....	25
IV.1.1. Evaluation comparée des Sdci pratiqués Sdc30 et Sdc50 de Tart-le-Bas.....	25
IV.1.1.1 Evaluation économique.....	25
IV.1.1.2 Evaluation sociale.....	26
IV.1.1.3 Evaluation environnementale.....	27
IV.1.2 Evaluation comparée des Sdci réalisés (campagnes 2007 à 2014) et pratiqués de Tart-le-Bas.....	30
IV.1.2.1 Evaluation économique.....	30
IV.1.2.2 Evaluation sociale.....	31
IV.1.2.3 Evaluation environnementale.....	32
IV.1.3 Evaluation comparée des Sdci réalisés (campagnes 2007 à 2011) de Tart-le-Bas et du SdcLoDo.....	34
IV.1.3.1 Evaluation économique.....	34
IV.1.3.2 Evaluation sociale.....	35
IV.1.3.3 Evaluation environnementaux.....	36
IV.2 Evaluation multicritère ou globale.....	38
IV.2.1 Description des arbres Masc.....	39
IV.2.2 Synthèse de l'évaluation multicritère.....	42
IV.3 Prescriptions.....	42
V / Discussion.....	43
V.1 Choix de la méthode d'évaluation.....	43
V.2 Choix du logiciel Criter.....	43
V.3 Sélection des systèmes réalisés et du système de référence.....	43
V.4 Choix des hypothèses de prix.....	44
V.5 Choix de la méthode Masc.....	44
V.6 Les Sdci expérimentaux de Tart-le-Bas.....	44
Conclusion.....	45
Bibliographie.....	46

Annexes

Présentation de l'organisme d'accueil

La ferme de Tart-le-Bas est une ancienne distillerie qui dispose de nombreux bâtiments dont les usages ont varié avec le temps. L'activité de distillerie s'arrête dans les années 50. Les bâtiments déjà en partie utilisés à des fins agricoles sont désormais uniquement consacrés à cette activité, associés aux 136 ha de terres qui étaient utilisées pour la culture de la betterave. La ferme est mise à disposition du lycée agricole en 1977.

Les bâtiments se composent aujourd'hui d'un hangar à fourrage, 2 stabulations pour les vaches allaitantes et les jeunes bovins puis d'une remise pour le matériel. La SAU de la ferme représente 170 ha dont 60 ha de prairies permanentes, et 110 ha (figure 7) de cultures très variées : blé, orge (printemps et escourgeon), tournesol, pois protéagineux, maïs, soja, moutarde brune et luzerne/dactyle (fourrage).

Concernant la stratégie de conduite des cultures, l'exploitation se place depuis 2002 dans un objectif de forte réduction d'utilisation de pesticides. Cette mission est aujourd'hui relayée par le plan Ecophyto, ainsi la ferme peut désormais travailler au sein d'un réseau de partenaires de recherche et de développement, efficace et solide. Elle fait office de véritable laboratoire expérimental pour les futures pratiques agricoles répondant aux objectifs de développement durable.

De plus, elle participe à une étude réalisée sur la biodiversité en milieu agricole BiodivEA (Salvaudon, 2014) depuis 2011, après avoir répondu à un appel à projet de la Bergerie nationale.

Il y a deux systèmes de cultures principaux avec des objectifs de réduction d'usage de pesticides différents. Pour répondre à cette réduction, les principes de la lutte intégrée sont mis en place depuis 2002 et affinés au fil des années. Il s'agit essentiellement d'exploiter au maximum les mécanismes de prophylaxie de régulation naturelle des bioagresseurs en substitution à la lutte chimique.

Les ressources de l'exploitation rémunèrent près de trois emplois:

- deux salariés, à temps plein,
- une apprentie en Bac pro épaulée par les deux permanents lesquels exercent, pour elle, des compétences de maîtres d'apprentissage,
- une enseignante en biologie-écologie « déchargée » d'un tiers de ses cours pour mener à bien un inventaire de la biodiversité fonctionnelle présente sur les terres de l'exploitation et étudier les moyens d'optimiser les services rendus par ces auxiliaires de culture.
- un directeur d'exploitation pour attribuer la gestion technique et financière de la ferme et conduire la mission de développement et d'innovation.



Liste des figures

Figure 1 : Dimensions de la durabilité.	2
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station météorologique d'Epoisses (1996).....	8
Figure 3 : Carte pédologique régionale de Bourgogne.....	9
Figure 4 : Carte des zones vulnérables de Côte d'Or au titre de la directive « Nitrates » en 2012.....	10
Figure 5 : Bilan de la qualité de l'eau distribuée en Côte d'Or en 2008 et en 2012.....	10
Figure 6 : Variation de la quantité de nitrates présents dans les eaux superficielles et souterraines de Côte d'Or lors de la 5 ^{ème} campagne de suivi au titre de la directive « Nitrates ».....	11
Figure 7 : Plan des parcelles de l'exploitation de Tart-le-Bas.....	15
Figure 8 : Rotation des cultures du Sdc30.....	18
Figure 9 : Rotation des cultures du Sdc50.....	18
Figure 10 : Arborescence MASC.....	22
Figure 11 : Indicateurs économiques des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas selon différents contextes de prix de vente des cultures et d'achat des engrais.....	25
Figure 12 : Indicateurs sociaux des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas	26
Figure 13: Impacts sur la qualité de l'eau et du sol des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas.....	27
Figure 14: Quantité de nitrates lixiviés des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas.....	28
Figure 15: Indicateurs de fréquence de traitement (IFT) des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas.....	28
Figure 16: Pression énergétique des Sdci pratiqués de Tart-le-Bas.....	29
Figure 17: Indicateurs économiques des Sdci pratiqués et réalisés (campagnes 2007 à 2014) de Tart-le-Bas.....	29
Figure 18 : Indicateurs sociaux des Sdci pratiqués et réalisés (campagnes 2007 à 2014) de Tart-le-Bas.....	31
Figure 19: Impact sur qualité de l'eau et du sol des Sdci pratiqués et réalisés (campagne 2007 à 2014) de Tart-le-Bas..	32
Figure 20: Quantité de nitrates lixiviés des Sdci pratiqués et réalisés (campagne 2007 à 2014) de Tart-le-Bas.....	32
Figure 21: Indice de Fréquence de Traitement des Sdci réalisés (campagnes 2007 à 2014) et pratiqués de Tart-le-Bas.	33
Figure 22 : Pression énergétique des Sdci pratiqués et réalisés (campagnes 2007 à 2014) de Tart-le-Bas.....	33
Figure 23 : Indicateurs économiques des Sdci et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011).....	34
Figure 24 : Indicateurs sociaux des Sdci de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagnes de 2007 à 2011).....	35
Figure 25: Impact sur la qualité de l'eau et du sol des Sdci et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011).....	36
Figure 26: Quantité de nitrates lixiviés des Sdci de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011).....	37
Figure 27: Indice de Fréquence de Traitement des Sdci de Tart-le-Bas et des SdcLodo réalisés (campagnes 2007 à 2011).....	37
Figure 28 : Pression énergétique des Sdci de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagnes 2007 à 2011).....	38
Figure 29 : Arbre MASC du système pratiqué Sdc30 de Tart-le-Bas en contexte de prix bas.....	40
Figure 30 : Arbre MASC du système pratiqué Sdc30 de Tart-le-Bas en contexte de prix hauts.....	40
Figure 31 : Arbre MASC du système pratiqué Sdc50 de Tart-le-Bas en contexte de prix Bas.....	41
Figure 32 : Arbre MASC du système pratiqué Sdc50 de Tart-le-Bas en contexte de prix hauts.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1: Description des principaux modes de production actuels.....	5
Tableau 2 : Quelques méthodes et outils d'évaluation de la durabilité en agriculture.....	7
Tableau 3 : Indicateurs économiques.....	20
Tableau 4 : Indicateurs sociaux.....	21
Tableau 5 : Indicateurs environnementaux.....	21
Tableau 6: Arbres satellites de Masc.....	24

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Lionel Raynard, pour m'avoir accueillie et avoir toujours souhaité faire partager son expérience et ses connaissances.

Je remercie également Camille Fonteny de l'ARAA d'avoir toujours pris le temps pour répondre à mes nombreuses questions et pour sa sympathie.

Merci à Violaine Deytieux et Martin Lechenet de l'INRA de Dijon, et Matthieu Hirshy de l'INRA Versailles-Grignon pour avoir toujours souhaité partager leurs connaissances.

Je remercie Bernard Nicolardot, tuteur universitaire et enseignant d'AgroSup pour la relecture de mon mémoire.

Je souhaite également remercier Lucas et Bertrand et Hélène pour leur accueil, leur distrayante et agréable compagnie.

Je remercie bien sûr également Chloé Salvaudeon et Geneviève Codou-David pour m'avoir fait participer à leur étude et pour leur compagnie forte agréable.

Je remercie aussi Marie-Claude pour sa gentillesse.

Je remercie également mes parents pour leur soutien et leur petit coup de pouce budgétaire fort utile pour cette dernière année d'étude imprévue mais également toutes les personnes qui ont pu m'encourager et rendre cette année agréable par une quelconque manière (Manon, Sophie, Camille, Simon, Simon, Julien, Khalid, Caro, Julie, Marie, Nicolas ...).

Signification des sigles

APCA Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

ARS Agence Régionale de Santé

DEPHY Démonstration Expérimentation Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires

DREAL Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement.

FEDER Fonds Européen de Développement Régional

FREDON Fédération Régionale de lutte et Défense contre les organismes nuisibles

INRA Institut National de Recherche Agronomique

MASC Multi-Attribute Assessment of the Sustainable of Cropping system

MEDDTL Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement

RMT Réseau Mixte Technologique

Sdci Système de Culture Innovant

SdcLoDo Système de culture Local Dominant

Introduction

Face aux nouveaux enjeux de durabilité de la société, l'agriculture occupe une place importante et se doit d'innover afin de réduire sa pression environnementale empreinte de conséquences néfastes à plus ou moins long termes (qualité du sol, de l'eau, de l'air, biodiversité...) tout en restant suffisamment attractive économiquement et socialement.

L'agriculture est déjà en mutation depuis quelques années, en réponse notamment à l'augmentation des prix des engrais et des pesticides (choc pétrolier). D'autres alternatives à la conduite intensive des cultures sont apparues, comme la conduite raisonnée qui respecte les besoins strictes des cultures mais ayant très peu d'effets sur la qualité des milieux. A ce titre la conduite biologique des cultures est extrêmement efficace et existe depuis plusieurs décennies. Une troisième voie (VIAUX, 1989) en agriculture a été également proposée et commence seulement à connaître un essor plus large en Europe. La conduite intégrée des cultures basée sur une approche globale du système production afin de favoriser au maximum la régulation naturelle des bioagresseurs.

Pour répondre à ces enjeux, un plan national de réduction de la dépendance aux pesticides a été lancé en 2008 nommé Ecophyto2018.

La ferme de Tart-le-Bas s'inscrit dans ce projet, en faisant partie du RMT Système de culture innovant et ainsi faisant office de site d'expérimentation en condition réelle de la production intégrée des cultures, et devenant une référence sur laquelle pourront s'appuyer d'autres projets.

Afin de progresser dans le domaine de la protection intégrée des cultures, il est proposé de créer des boucles de progrès, en concevant des nouveaux systèmes, en les évaluant et les rendant plus performant, et ainsi de suite. Pour cela, des méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture sont mises en place afin de sélectionner les systèmes plus performants.

L'objectif de cette étude est dans un premier de réaliser une caractérisation multicritère des Sdci de Tart-le-Bas par l'analyse d'indicateurs discrétisés les uns des autres et en jugeant leurs performances par rapport à un système de culture de référence. Puis dans un second temps, l'objectif sera de réaliser une évaluation multicritère de la durabilité des Sdci afin d'estimer leur contribution au développement durable de manière plus globale.

I / Synthèse bibliographique

I.1 Bref historique des grands changements du monde agricole

I.1.1 Les grandes révolutions de l'agriculture

Jusqu'à la révolution industrielle (mi XIX^{ème}) l'agriculture est énergétiquement renouvelable et autonome avec de petits rendements mais fournis à l'homme l'essentiel de son alimentation, par la suite l'utilisation d'énergie fossile va entraîner l'essor de la mécanisation aux champs. Ceci aura pour conséquence la diminution du nombre de paysans et nourrir davantage d'urbains, avec une baisse des prix et un développement de produits manufacturés. La fin du XIX^{ème} est marquée aussi par le début de l'utilisation d'engrais minéraux et de pesticides issus de l'industrie chimique.

A la fin de la deuxième guerre mondiale, l'agriculture connaît une révolution sans précédent, une modernisation radicale qui annonce l'agriculture d'aujourd'hui. Elle se traduit par une marginalisation du monde paysan et une explosion de la productivité. La sélection variétale se développe considérablement. La productivité est telle que des surplus alimentaires apparaissent. Face à cela la PAC de 1992 rend obligatoire la pratique de la jachère supprimée lors des dernières grandes évolutions du monde agricole (Bairoch, 1989).

I.1.2. Prise de conscience des nouveaux enjeux de l'agriculture

Après plusieurs décennies d'évolution, l'agriculture intensive a suscité bon nombre de questionnement lié en partie à sa dépendance au pétrole (choc pétrolier) et à l'apparition de surplus alimentaire. Peut-on continuer à s'intensifier davantage ? Doit-on uniquement chercher un rendement maximum ? De courants dissidents se développent également vis-à-vis des impacts néfastes sur l'environnement ; en effet à partir des années 70, la question de la pollution des eaux par les pesticides et les nitrates commencent à inquiéter certains scientifiques (Verrières, 1977). Cependant, l'évènement majeur qui a fortement contribué à la remise en cause de ce système productiviste vis-à-vis du grand public est la crise de la vache folle à la fin des années 90, la population va véritablement perdre confiance dans ses agriculteurs. Aujourd'hui on assiste à une réelle volonté de connaître l'origine du produit et ses conditions de production, un retour au circuit court et à la vente directe apparaît même si cela ne représente pas un volume important. Cependant, face à un consensus entre une volonté de la population et les politiques nationales et européennes, de nombreuses recherches et expérimentations sur des systèmes de cultures économes en intrants sont encouragées. On cherche à faire davantage d'agronomie que d'utiliser la chimie comme solution à tous les problèmes (Reau et al, 2008).

I.2. Contexte actuel

I.2.1. Notion de durabilité

La notion de développement durable a été définie la première fois en 1987 dans le rapport Brundtland publié par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement :

« Un développement qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

Cela pose la réflexion de la prise en compte des conséquences du développement à une échelle globale, afin d'agir localement (« Penser global, agir local », René Dubos, Sommet de la Terre, 1972). Se développer pour créer des richesses pour tous, satisfaire les besoins humains et exploiter les ressources naturelles tout en les préservant. Il s'agit d'établir un équilibre entre croissance économique, bien-être des personnes et respect de l'environnement. A ces trois piliers (figure 1) s'ajoutent le concept de gouvernance, prendre des décisions ensemble pour un but commun, avancer dans une co-conception afin d'assurer au mieux l'adhésion de tous.

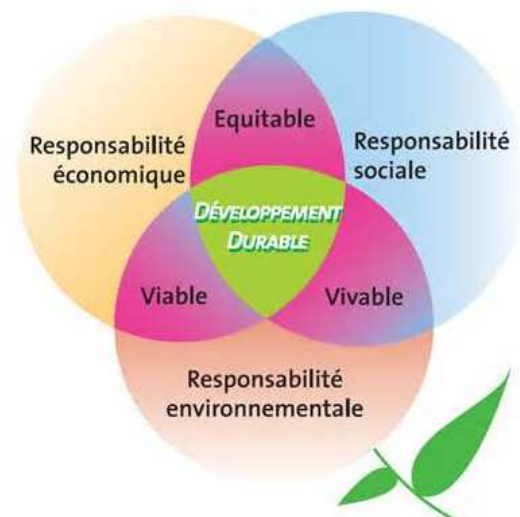


Figure 1 : Dimensions de la durabilité

Lors de la CNUED (Commission des Nations Unies sur l'Environnement et la Développement) de 1992 les pays décident de mettre au point des stratégies nationales de développement durable et des indicateurs de la durabilité (Rapport CNUED de Rio de Janeiro, Agenda 21, 1992). Depuis l'Union Européenne a souhaité intégrer du développement durable dans toutes ses politiques et a décidé de réfléchir à des indicateurs spécifiques à l'agriculture lors des réformes de la PAC en 2000. Cette dernière action servant à promouvoir et à faciliter la mise en place d'une agriculture durable.

1.2.2. Inscription de l'agriculture dans la durabilité

Les enjeux de l'agriculture ont dû s'adapter aux problématiques de la société actuelle (Reau et al, 2008) :

La dégradation de l'environnement et la responsabilité avérée de l'agriculture

« Au cours des cinquante dernières années, l'homme a généré des modifications au niveau des écosystèmes de manière plus rapide et plus extensive que sur aucune autre période de l'histoire de l'humanité », pour combler une demande toujours plus importante en énergie et nourriture sans tenir compte des besoins des générations futures. Cette croissance exponentielle des besoins humains entraîne une érosion importante des écosystèmes et des ressources naturelles disponibles sur la planète. Les pratiques agricoles sont pointées du doigt depuis quelques années pour leur responsabilité dans la dégradation de la qualité de l'eau, de l'air, des sols et de la biodiversité, mais également leur forte consommation d'énergies fossiles. Aujourd'hui l'agriculture érode le « capital-ressources » au lieu de le fructifier comme le faisait l'agriculture préindustrielle en utilisant uniquement des ressources renouvelables et ainsi créait un produit net (Verrières, 1977).

La nécessaire compétitivité des exploitations agricoles, dans un contexte de mondialisation des échanges

Cette mondialisation a induit une inégalité dans la compétitivité des exploitations entre concurrents internationaux, essentiellement liée au coût du travail. La surface des exploitations s'accroît mais le nombre de travailleurs diminue, les prix du marché sont de plus en plus fluctuants, et les risques liés aux changements climatiques et aux parasites augmentent. Toutes ces évolutions sont étroitement liées à l'homogénéisation des systèmes de cultures à travers le monde, au réchauffement climatique et à l'augmentation du coût de l'énergie. Face à cela, il y a toute une réorganisation du travail à réaliser pour rester compétitif dans le monde entier et ainsi assurer la pérennité des exploitations.

L'évolution des attentes des consommateurs et de la demande des filières

Aujourd'hui les consommateurs souhaitent une garantie de qualité du produit, connaître son origine, ses conditions de production. Les différents contrats et cahiers des charges se multiplient pour les agriculteurs afin de répondre à des normes de plus en plus diversifiées selon les attentes des consommateurs. Les enjeux actuels sont de diminuer l'utilisation de produits de synthèse tout en garantissant une protection sanitaire des produits et un bon rendement. Le développement de méthodes alternatives devient donc impératif.

Une transformation profonde des relations agricultures-territoires

Après avoir été marginalisée au cours des dernières décennies, l'agriculture doit aujourd'hui cohabiter avec les autres activités occupant l'espace, en adaptant ses priorités de production. Les agriculteurs deviennent responsables de la bonne gestion de l'espace, de l'écologie, du paysage... Ils doivent parfois davantage se préoccuper du bon respect des lois de gestion environnementales, que de la bonne marche de leur propre exploitation. L'esthétisme paysager de l'exploitation peut être très important afin de répondre à une demande de qualité de cadre de vie des résidents ou des touristes. En d'autres termes, l'agriculture n'occupe plus une simple fonction de production mais devient multifonctionnelle. Toute évolution devra s'opérer en collaboration avec des acteurs non agricoles.

I.2.3 Définitions

Système de culture

« Le système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : la nature des cultures et leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures ce qui inclut le choix des variétés » (Sébillotte, 1990).

Succession des cultures

« Né de la nécessité de régénérer la terre après une récolte, la rotation ou alternance de différentes cultures de différentes végétations une année sur l'autre, a permis de compenser en partie l'insuffisance des techniques agricoles et notamment de la fumure », (MOYEN, Encyclopédie Universalis, 2014). Le principe de base consiste à faire succéder des plantes ayant des besoins nutritifs et une sensibilité aux bioagresseurs différents. Cette stratégie permet de conserver les ressources naturelles du sol et sa fertilité. Pour désigner la durée de la rotation, on parle ainsi de monoculture, rotation biennale (pratiquée jusqu'au XIX^{ème}), triennale (apparaît dès le XIII dans les terroirs céréaliers et a permis de diminuer efficacement les grandes famines endémiques en nourrissant davantage d'hommes).

Itinéraire technique

D'après Sébillotte, l'itinéraire a été lui-même défini comme « une combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée » (Sébillotte, 1974).

« Plus encore, il nécessite de s'intéresser aux liens qui existent entre les actes techniques au sein d'un itinéraire technique sur une culture donnée et entre les itinéraires techniques des différentes cultures. Il inclut également la dimension paysagère associée. Le système de culture a donc une dimension temporelle et spatiale » (Moronval, 2011)

Protection intégrée des cultures (PIC)

« Au cours du temps, les cultivateurs ont développé de nombreuses pratiques pour limiter l'expansion et les dégâts des différentes espèces d'organismes invisibles appelés « ravageurs », « prédateurs » ou encore « bioagresseurs » : la rotation des cultures, dans laquelle l'alternance des plantes cultivées empêche des ravageurs spécialisés d'atteindre des effectifs incontrôlables ; la plantation d'arbres ou de haies autour des champs, voire dans les champs, pour faire barrière à l'invasion de certains insectes et/ou fournir des refuges à leurs ennemis naturels (sans parler de la protection contre le vent et l'érosion des sols) ; la pratique de polycultures, qui met à profit la diversité végétale comme stratégie de contrôle des ravageurs potentiels ; l'élimination des plantes malades ou infectées » (Sforza et al, 2008). La protection intégrée des cultures se définit par tous les moyens naturels de lutte contre les bioagresseurs, puis une utilisation de produits de synthèse (pesticides, fertilisation minérale) qu'en dernier recours.

Système de culture pratiqué

Le système de culture pratiqué est une synthèse des interventions culturales appliquées sur l'ensemble des parcelles d'un système de culture, à partir d'un historique de 2 à 5 ans le plus souvent. Les pratiques récurrentes et les variantes sont distinguées par la détermination de fréquence d'interventions selon un contexte précis (PETIT. M-S, 2012).

Système de culture réalisé

Le système de culture réalisé reprend les interventions exactement réalisées sur une parcelle donnée, sur n année.

Indice de Fréquence de Traitement

L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) permet d'évaluer la « pression phytosanitaire » exercée sur chaque parcelle. L'IFT est exprimé en « nombre de doses homologuées par hectare » appliquées sur la parcelle pendant une campagne culturale. Cet indicateur peut être calculé pour un ensemble de parcelles, une exploitation ou un territoire, ou encore par grandes catégories de produits (herbicides et autres). L'IFT de la parcelle est alors égal à la somme des quantités normalisées définies ci-dessus pour tous les traitements (T) réalisés sur la parcelle, autrement dit :

$$IFT_{\text{parcelle}} = \sum \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose homologuée}}$$

L'IFT de référence régional est calculé en faisant la moyenne des IFT par culture et par région, pondérée par la proportion de chacune des différentes cultures présente dans l'assolement de chaque région.

1.2.4 Les principaux modes de production actuels

Face à la remise en cause de l'agriculture conventionnelle ou productiviste, différents systèmes de cultures cohabitent aujourd'hui :

Tableau 1: Description des principaux modes de production actuels

	Conduite intensive	Conduite raisonnée	Conduite intégrée	Conduite en agriculture biologique
Objectifs de conduite	Maximiser le rendement	Optimiser le rendement	Limiter le recours aux engrais et produits phytopharmaceutiques	Ne pas utiliser de produits de synthèse
Stratégies et techniques de conduite	Tous les facteurs limitants sont levés grâce à l'utilisation d'intrants (produits phyto, engrais...)	Raisonnement des interventions au seuil économique	Ne pas exposer la culture aux parasites et utiliser les mécanismes de régulation naturelle pour limiter le recours aux intrants	Mettre en place un système de culture avec des techniques alternatives

Source : *Construire des systèmes de cultures*, 2011. Jean-Robert Moronval

La conduite intensive (ou productiviste) est « fondée sur l'optimisation de la production par rapport à la surface cultivée, [méthode qui] requiert des investissements importants et une utilisation accrue d'intrants agricoles (énergie, engrais, matériel) » (Grosclaude, 2001). Cette stratégie d'exploitation laisse très peu de place à l'improvisation. Les interventions sont systématiques et se répètent année après année sans variation importante.

La conduite raisonnée est une « mise en œuvre des techniques les plus conformes à des exigences d'ordre économique et écologique de façon à maximiser les performances par l'intégration des innovations technologiques, à améliorer la qualité technologique et sanitaire des produits et à réduire les impacts négatifs des pratiques agricoles sur l'environnement » (Grosclaude, 2001). Cette stratégie s'inscrit dans un suivi du développement des plantes afin de réaliser les interventions de protection des cultures à partir d'un certain seuil fixé dans un objectif d'éviter toute baisse de rendement. A noter que ce scénario ne se base pas sur des techniques de minimisation des risques, l'utilisation d'intrants est donc une obligation (Moronval, 2011).

La conduite intégrée correspond à une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole, qui cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, engrais, produits chimiques), en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit les processus naturels de régulation (Viaux, 1999).

La conduite en agriculture biologique est une « production fondée sur le refus de l'utilisation de produits issus de l'industrie chimique de synthèse (fertilisants artificiels ou pesticides de synthèse) et sur des pratiques respectueuses des animaux et de l'environnement » (Grosclaude, 2001). Cette stratégie s'inscrit dans la mise en place de techniques

alternatives afin d'éviter l'utilisation de pesticides, la fertilisation azotée est assurée par l'apport d'amendements organiques (compost, fumier...).

1.3.Méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures

La base conceptuelle de ces méthodes s'appuie sur la notion de durabilité de l'agriculture qui correspond à «une agriculture écologiquement saine, économiquement viable, socialement juste et humaine » (Francis et Youngberg 1990).

Un grand nombre des méthodes utilisées pour évaluer la durabilité en agriculture est cité dans le tableau ci-après. Ces méthodes semblent assez conséquentes, cependant peu d'entre elles étudient les trois dimensions de la durabilité, elles sont souvent attachées uniquement à la dimension environnementale.

Elles vont se distinguer dans un premier temps, par la pertinence et le choix de leurs indicateurs, et ainsi le public auquel elles sont destinées. Elles ont donc des objectifs bien distincts. Les types d'indicateurs se répartissent en trois groupes (Reau et al, 2008) :

- Des indicateurs simples basés sur des calculs à partir d'une ou plusieurs variables d'une même famille. Il donne une information extrêmement réduite sur un impact donné, car ils ne font aucun lien entre les causes et les effets, ils sont généralement identifiés comme les causes (IFT, EQUIF, consommation énergétique...).
- Des indicateurs complexes estimant un impact à partir de lois mathématiques qui relient les causes aux effets, en fonction du milieu et des pratiques culturelles (indice de pollution de nappes...). Ce type d'indicateurs facilite ainsi la prise de décisions pour atteindre un objectif précis sur la qualité d'un milieu.
- Des indicateurs provenant directement des mesures de terrain, relatant au plus près l'impact ou l'effet sur le milieu. Ils sont très utilisés pour l'estimation de la biodiversité, cependant ils ne permettent pas de faire un lien avec les causes.

Une fois les indicateurs choisis, il est important de les exprimer selon une unité qui répond à un objectif précis. Par exemple, la consommation d'énergie peut s'exprimer soit par ha, soit par kg produit, ainsi il faut savoir si l'on veut agir sur l'impact de l'agriculture sur le milieu (unité de surface) ou de la production alimentaire (unité produite).

Après le calcul des indicateurs réalisé, l'évaluation se poursuit dans une réflexion sur les facteurs qui influent le caractère durable de l'exploitation, afin de faciliter les choix d'action pour atteindre des objectifs donnés. L'établissement de seuils d'interprétation ou de qualité pour chaque indicateur fait partie de cette réflexion, afin de savoir si la durabilité est plus ou moins satisfaisante. Ces décisions relèvent plus souvent de choix sociétaux que scientifiques, ce qui peut entraîner beaucoup de discussions dans la sphère scientifique.

Par la suite, il est intéressant de proposer une méthode d'agrégation, afin de dégager une information simplifiée à partir d'une multitude d'indicateurs, et ainsi rendre compte d'une situation de manière claire. Cette étape permet de mettre en évidence les facteurs d'impact (Weber, 1994).

La détermination des seuils d'interprétation et de la méthode d'agrégation peut évoluer en fonction des objectifs de l'évaluation, et du milieu naturel propre au contexte d'utilisation (Reau et al, 2008).

Les résultats en sorties seront soit qualitatifs en étant analysés à dire d'experts, ou quantitatifs appuyant d'un point de vue mathématique leur degré de durabilité.

Un certain nombre de méthodes d'évaluation (tableau 2) existent en fonction des objectifs souhaités et des utilisateurs cibles :

Tableau 2 : Quelques méthodes et outils d'évaluation de la durabilité en agriculture

Méthodes et/ou outils	Dimension de la durabilité	Echelle de l'évaluation	Concepteurs	Utilisateurs et cibles
IDEA	Environnement Economie Sociale	Exploitation agricole	Bergerie nationale	Agriculteurs - Enseignants Conseillers - Etudiants Animateurs
MASC	Environnement Economie Sociale	Système de culture	INRA...	Chercheurs Ingénieurs Conseillers
Charte de l'agriculture paysanne	Environnement Economie Sociale	Exploitation agricole	TRAME	Agriculteurs Animateurs
AQUAPLAINE	Environnement	Parcelle Exploitation, Bassin versant	Arvalis	Conseillers
INDIGO	Environnement	Parcelle Exploitation, Système de culture	INRA Colmar	Chercheurs Ingénieurs Conseillers
SALCA	Environnement	Parcelle Filière de production	Agroscope Zurich	Chercheurs
DIATERRE	Energie/gaz à effet de serre	Exploitation agricole	SOLAGRO/ADEME	Conseillers

II / Contexte de l'étude

II.1.L'agriculture de la plaine de Dijon

II.1.1 Principales cultures

L'exploitation est localisée au sein de la petite région agricole de la plaine de Dijon. Dans cette plaine, le paysage est prédominé par de larges open-field où l'agriculture est principalement céréalière et oléoprotéagineux. L'élevage reste marginal et les productions de bovins et de volailles sont en nette recul ces trente dernières années. Les exploitations avec une SAU supérieure à 100ha sont en augmentation.

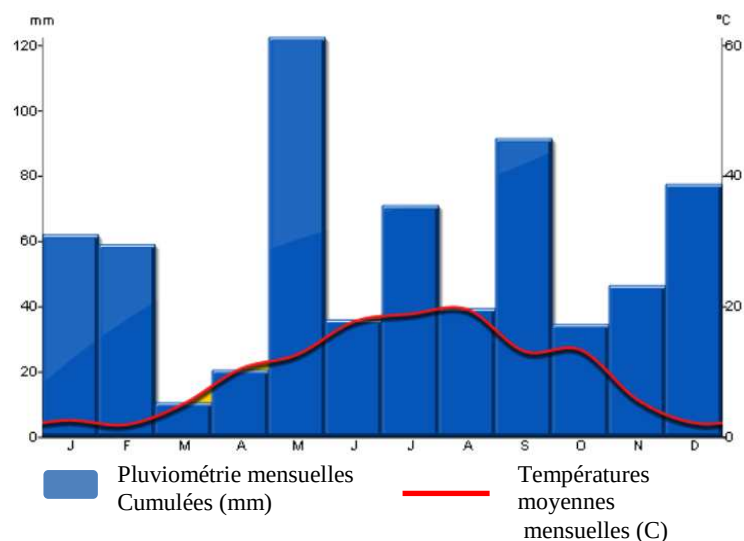
II.1.2. Contexte climatique

Le climat dépend dans un premier temps des conditions d'échelles majeures, qui règnent dans tout l'hémisphère nord à une même latitude. Ainsi la Bourgogne, est dans une zone « tempérée » et possède un climat de type océanique à tendance semi-continentale.

La Bourgogne est un carrefour climatique important, elle rappelle la répartition climatique du territoire français, avec son versant occidentale océanique et son versant orientale à la fois méridionale et continentale. Ces différentes influences régulées par d'importantes masses d'air provenant de l'océan Atlantique donne un climat tempéré et humide en toutes saisons, avec peu de températures extrêmes.

Cependant, l'exploitation de Tart-le-Bas est localisée dans la partie Est de la Bourgogne, beaucoup moins tempérée par les vents d'Ouest. En effet sa position abritée à l'est des reliefs bourguignons (Morvan et Seuil de Bourgogne), lui fait subir l'air froid du nord-est, responsable d'un hiver rigoureux continental. De plus, avec les vents méditerranéens remontant le long de la vallée du Rhône et son altitude faible, l'Est de la Bourgogne possède un climat chaud en été (Bourgogne Nature). Les chaleurs estivales peuvent entraîner un recours à l'irrigation au niveau des cultures de l'exploitation.

Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station météorologique d'Epoisses (1996)



L'année 1996 correspond à une année médiane en termes de potentiel de lixiviation de l'eau (Camille Fonteny, communication personnelle). D'après la figure 2, même s'il pleut continuellement tout au long de l'année, l'intensité des pluies peut être irrégulière, ce qui peut entraîner parfois un recours à l'irrigation certaines années. La fin du printemps, l'été et l'automne sont les périodes de l'année où la pluviométrie est la plus importante. Sachant que l'augmentation de la température peut coïncider avec des fortes pluies, une quantité importante d'eau peut-être inefficace pour les cultures.

De plus, les sols sont extrêmement argileux et avec cette pluviométrie continue, les terres sont dites dans le jargon agricole très « tirantes ». En effet, l'argile contenant beaucoup d'eau demande une force motrice plus importante aux engins agricoles pour un même travail que sur d'autres surfaces. Cette terre sera également lente à ressuyer ce qui peut retarder sa praticabilité.

II.1.3 Contexte pédologique

D'un point de vue régional (Atlas Régional de l'environnement), la Bourgogne présente une diversité de sols très importante (figure 3).

Il y a tout d'abord les plateaux calcaires (Seuil de Bourgogne) recouverts par des sols calcimagnésiens caractéristiques des milieux basiques (sols évolués).

Le Morvan est recouvert par des sols podzoliques et des sols brunifiés acides, du fait de son substrat de roches cristallines acides, l'ensemble étant extrêmement lessivé par des précipitations importantes (sols très évolués).

Les parties est et ouest situées de part et d'autres des massifs bourguignons et concernant notre zone d'étude, présentent principalement des sols bruns et/ou lessivés souvent hydromorphes. Les plaines alluviales sont la plupart du temps recouvertes d'alluvions récentes (sols peu évolués) souvent hydromorphes en hiver ; on y trouve également des rendzines et sols bruns calcaires.

L'hydromorphie des sols est présent dans l'ensemble des régions naturelles bourguignonnes, sauf au niveau des plateaux calcaires du fait du caractère karstique du sous-sol.

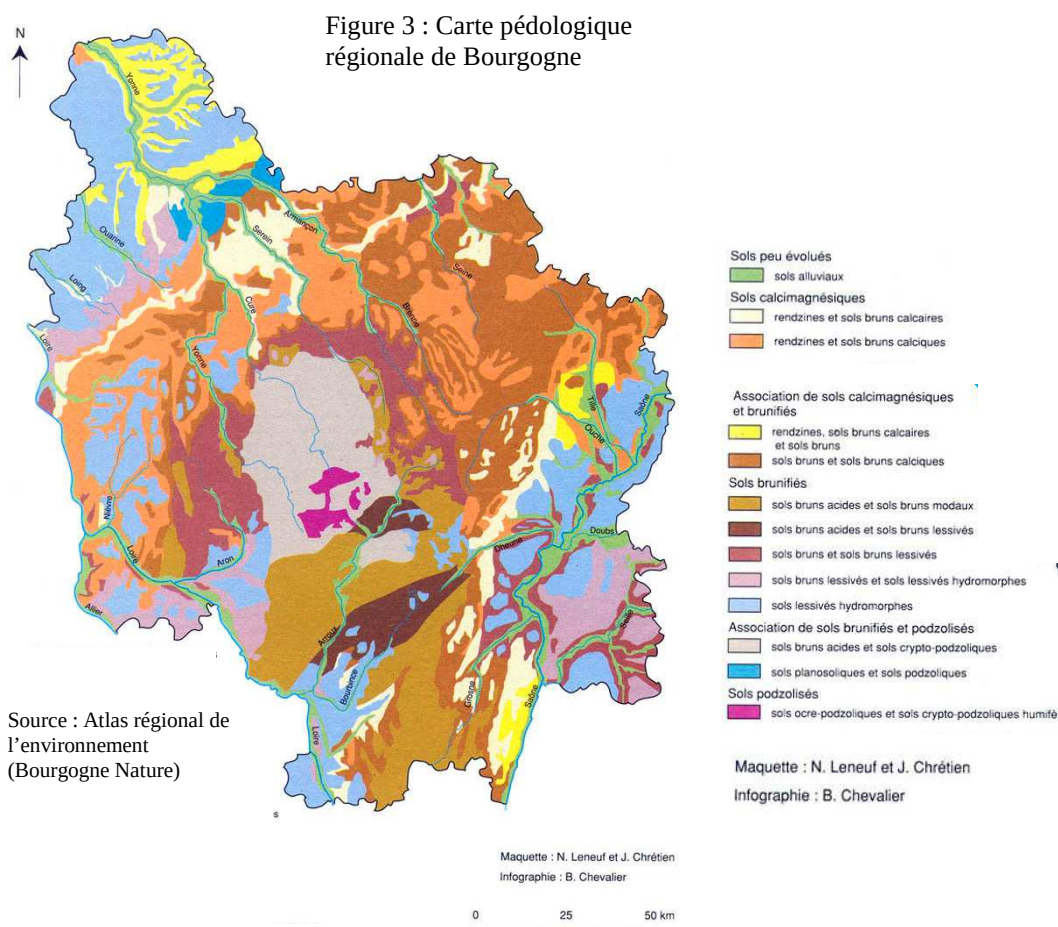
Dans la plaine de Genlis, les sols alluviaux et argileux dominant, et constituent des terrasses alluviales argilo-limoneuses de l'Holocène plus ou moins carbonatées.

Au niveau du parcellaire de l'exploitation, les alluvions y sont franchement carbonatées avec un pourcentage moyen de 20%, et un taux d'argile autour des 50 %.

De plus, elles peuvent être surmontées par des alluvions récentes, provenant des inondations de la plaine. Ces alluvions, ayant pour origine l'augmentation du débit de la rivière, peuvent présenter une granulométrie plus grossière. Ceci expliquerait le caractère plus ou moins graveleux pouvant être observé par endroit au niveau du parcellaire de l'exploitation, responsable d'une diminution de la réserve utile pouvant ainsi osciller entre 70 et 100 mm au lieu de 150 à 200 mm sur le reste de l'exploitation (carte géologique de Dijon et études de sol réalisées sur le parcellaire de la ferme).

Ce sont des sols agronomiquement intéressants, leur forte quantité d'argile et la présence de calcaire permet une bonne protection de la matière organique. Une granulométrie équilibrée entre fine et légèrement plus grossière permet une bonne disponibilité de l'eau pour la plante, avec une réserve utile importante.

Cependant, ces sols présentent quelques contraintes telles que l'hydromorphie et l'inondabilité, de ce fait, leur forte mise en culture pose des problèmes environnementaux. Il est observé une importante pollution des nappes de la plaine par les nitrates et les pesticides.



II.2 Contexte agro-environnementale

II.2.1 Qualité de l'eau

Les problèmes de gestion de l'eau préoccupent depuis deux siècles ; les premiers textes régissant son usage et sa propriété sont les codes napoléoniens, post Révolution française, où aucune préoccupation environnementale n'y est mentionnée (Agence de l'eau).

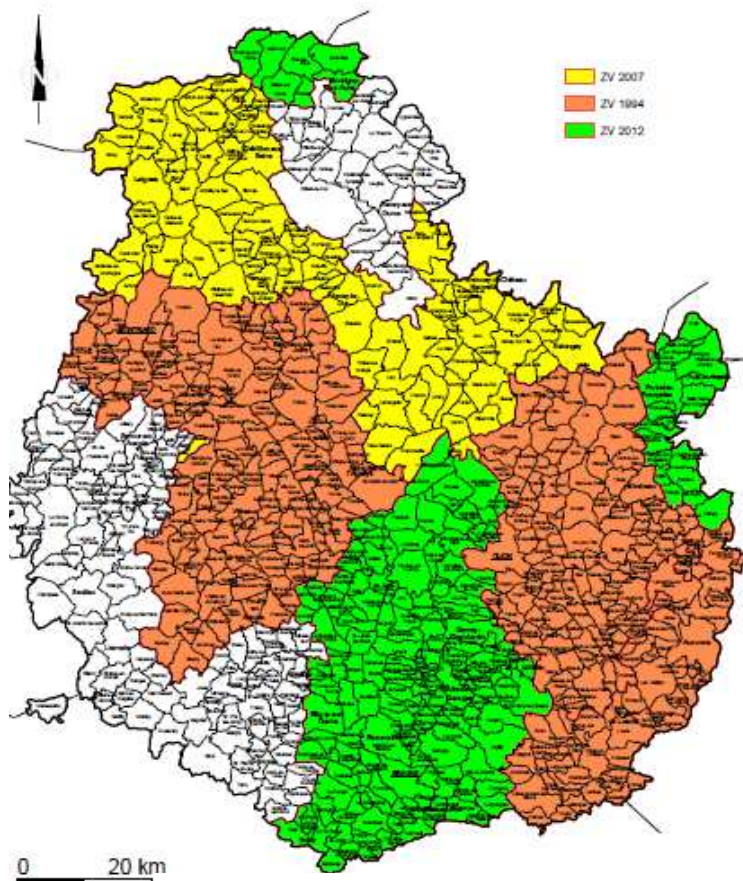
Aujourd'hui les grandes lignes directrices de la gestion de l'eau sont définies au niveau européen au sein de la Directive Cadre sur l'eau du 23 octobre 2000 qui fixe l'atteinte du bon état des masses d'eau d'ici 2015, puis est transposée dans le droit français dans la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA). Cette politique est déclinée ensuite par grand bassin versant.

La Côte d'Or est concernée par trois grands bassins versant : Seine-Normandie, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée-Corse. Ce dernier où est localisée l'exploitation de Tart-le-Bas, comprend les vignobles de la Côte responsables d'une pollution aux pesticides extrêmement importante. La plaine de Genlis n'est pas non plus épargnée des pollutions agricoles.

Les simples mesures de conditionnalité de la PAC ne suffisent pas à protéger l'environnement, l'Europe s'est vu obligée de mettre en place des programmes d'actions concrets, pour voir une amélioration de la qualité des eaux.

II.2.1.1 Nitrates

Face à la dégradation globale de la qualité des eaux, et la participation avérée de l'agriculture dans cette pollution, l'Europe a donc lancé une première directive en 1991, la directive « Nitrates ». En effet, les pratiques agricoles entraînent le rejet de 74% des nitrates présents dans les eaux. Cette directive se traduit par un certain nombre de pratiques plus respectueuses de l'environnement imposées aux agriculteurs répertoriés dans des zones classées « vulnérables ». En France, un nouveau programme d'actions est mis en place tous les quatre ans depuis 1996, en fonction des résultats de l'analyse des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et superficielles.



Comme le montre la figure 4 et sachant que la Côte d'Or est un département fortement agricole, environ 75 % de son territoire est classé en zone vulnérable depuis 2012.

Cependant la figure 5 semble mettre en évidence une amélioration encourageante de la qualité de l'eau par rapport aux nitrates entre 2008 et 2012.

En effet, les résultats de la dernière campagne de mesures montrent une amélioration depuis 1993 (1^{ère} campagne de mesures) pour 75 % des stations d'eaux superficielles dont 19% voient une diminution en nitrates de plus de 5 mg/L (figure 6).

Figure 4 : Carte des zones vulnérables de Côte d'Or au titre de la directive « Nitrates » en 2012

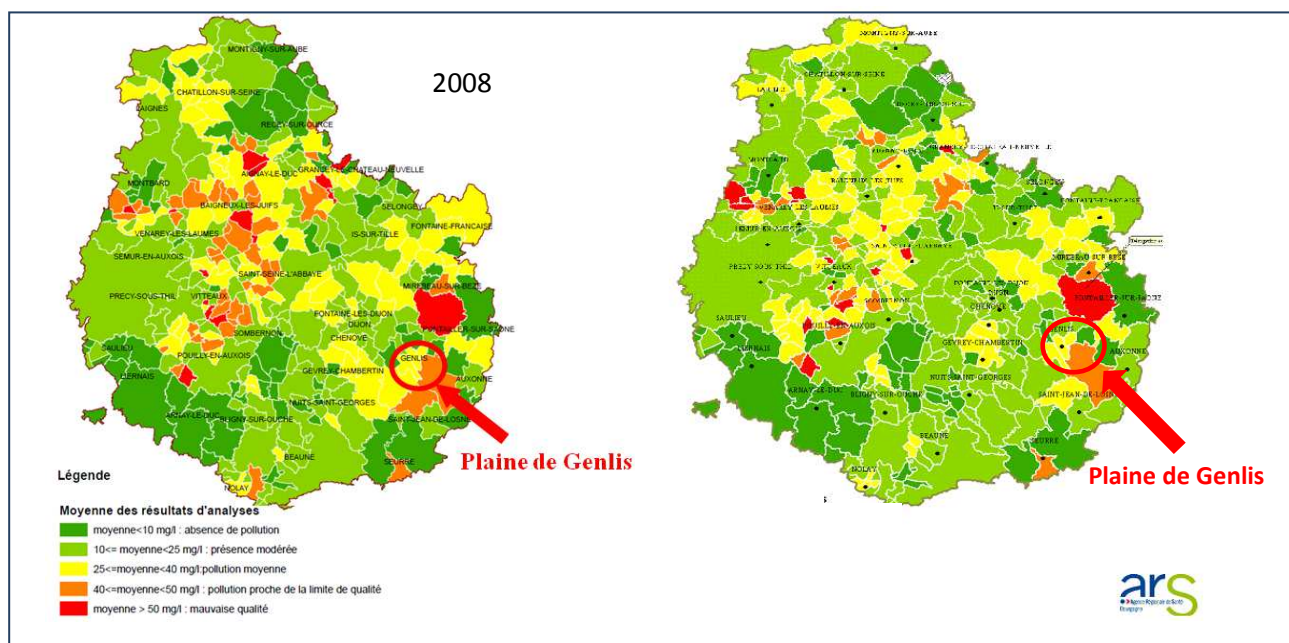


Figure 5 : Bilan de la qualité de l'eau distribuée en Côte d'Or en 2008 et en 2012

Cependant 6% d'entre elles ont subi une forte dégradation, supérieure à 5 mg/L. Du côté des eaux souterraines, on observe une diminution de la quantité de nitrates pour 80% des stations dont 60% voient une diminution de plus de 5mg/L. Il y a tout de même 7% des stations d'eaux souterraines qui subissent une dégradation supérieur à 5mg/L.

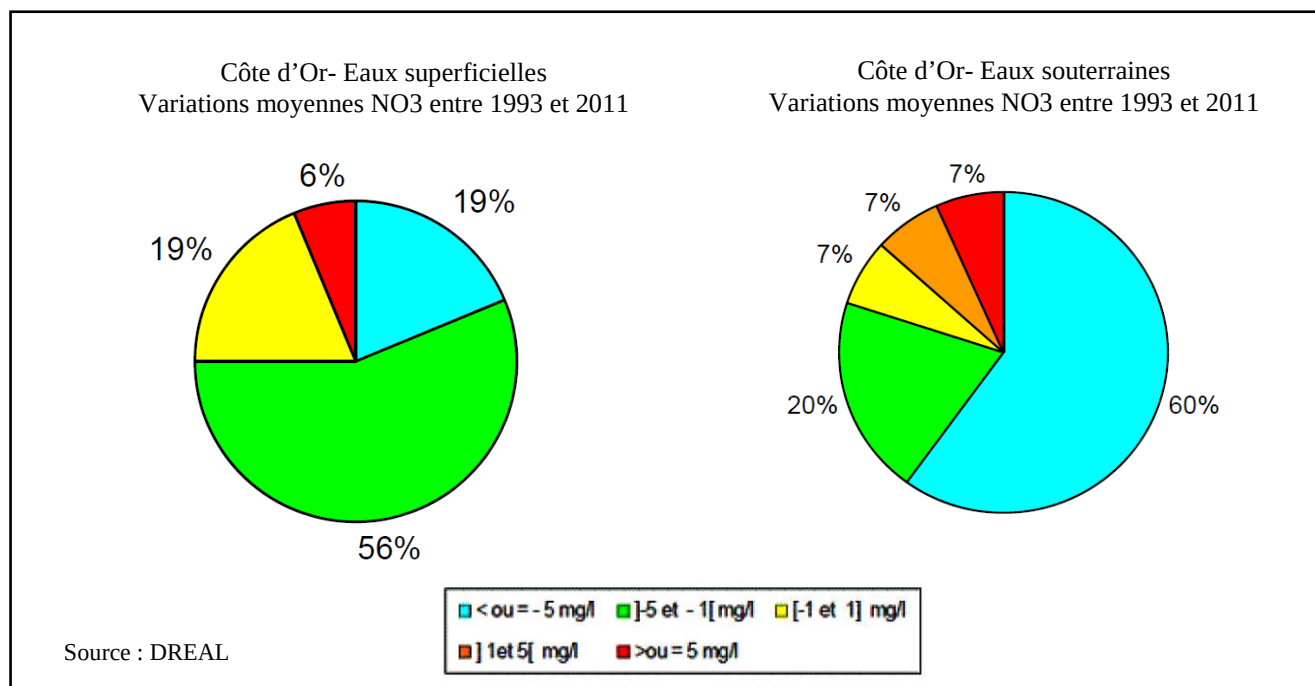


Figure 6 : Variation de la quantité de nitrates présents dans les eaux superficielles et souterraines de Côte d'Or lors de la 5^{ème} campagne de suivi au titre de la directive « Nitrates »

Malgré des améliorations non négligeables observées, aucune commune de Côte d'Or n'a été exclue de la zone vulnérable au titre de la directive « Nitrates ».

II.2.1.2 Pesticides

En ce qui concerne les pesticides, 90% des ventes à l'échelle nationale sont destinées au monde agricole, les différentes politiques de lutte contre les pollutions s'orientent donc logiquement vers l'agriculture.

Entre 2008 et 2011, un réseau de suivi dans les eaux superficielles et souterraines a été mis en place en Bourgogne par la FREDON Bourgogne et financé par le FEDER et le MEDDTL. Cette étude, dont la synthèse n'a pas encore été rendue publique, a permis de fournir une estimation du degré de pollution des eaux par les pesticides en Bourgogne. Sur chacune des quatre années d'études, une large majorité, entre 59% et 86%, des stations d'eaux souterraines mesurées en Côte d'Or sont contaminées au moins une fois aux pesticides. 85% des concentrations proviennent de molécules déjà interdites.

Les eaux superficielles sont plus facilement sujettes aux pollutions étant donné que les pourcentages de stations contaminées au moins une fois, sur chacune des quatre années d'études, s'étendent de 70 à 100% selon les années. De plus, 70 % des quantités de pesticides présentes provient de molécules autorisées, en effet la vitesse de renouvellement des eaux superficielles est nettement supérieure aux eaux souterraines, donc les molécules interdites ont été rapidement vidangées.

Aussi bien dans les eaux souterraines que superficielles, les quantités de pesticides observées correspondent à 85% d'herbicides, les efforts de lutte doivent donc essentiellement se porter sur ce type de molécule.

II.2.2 Erosion de la biodiversité dans le milieu agricole

L'agrosystème est un écosystème totalement anthropisé, avec l'exportation de la majorité de la production végétale à des fins alimentaires ou énergétiques, il est donc entièrement déséquilibré. Les cycles naturels sont rompus et il est nécessaire de ramener de la matière minérale ou organique pour produire à nouveau. Cet agrosystème entraîne une

simplification extrême de la biodiversité, responsable d'un développement très rapide des bioagresseurs dans un milieu totalement homogène. Dans ces conditions, l'utilisation importante de pesticides est obligatoire pour assurer un rendement satisfaisant (Salvaudon, 2014)

Actuellement, le rôle des organismes auxiliaires (organismes qui a un effet bénéfique pour l'environnement de l'homme) dans la protection des cultures est reconnu. Cependant pour aider à leur développement, il est nécessaire de diminuer l'utilisation des pesticides mais également de favoriser l'existence d'une niche écologique adéquate à leur développement. Ils permettront ainsi une régulation naturelle d'une partie des ravageurs. Le même principe peut être appliqué pour la lutte contre les adventices, en favorisant le développement de plantes compétitives à celles nocives au bon développement des cultures.

Ces quelques principes de régulations naturelles des bioagresseurs peuvent aider à retrouver une certaine biodiversité au sein de l'agrosystème

II.2.3. Les pistes d'action

Les pollutions ponctuelles ont été facilement identifiables, et proviennent uniquement d'une mauvaise manipulation des produits avant leur utilisation sur les cultures, des progrès peuvent être réalisés à relativement court terme.

En ce qui concerne les pollutions diffuses, leur contrôle est beaucoup plus complexe. Il s'agit de faire évoluer les habitudes agricoles au niveau des itinéraires techniques pratiqués depuis des décennies. Il n'y a pas de « recette toute faite » à donner aux agriculteurs, les pratiques doivent être adaptées à chaque contexte pédoclimatique, économique ou social. Face à ces enjeux des nouvelles pratiques se sont développées.

L'agriculture raisonnée permet de limiter les abus d'utilisation des produits phytosanitaires mais est très loin d'être suffisante pour avoir une véritable influence sur l'état du milieu naturel.

L'agriculture biologique est extrêmement satisfaisante d'un point de vue environnementale, mais peut entraîner parfois des contraintes très importante pour beaucoup d'agriculteurs et ainsi rendre difficile son développement.

La production intégrée des cultures semble être un compromis intéressant aujourd'hui, elle permet d'avoir une véritable influence sur la qualité du milieu, en proposant une multitude d'alternatives de régulation naturelles des bioagresseurs, afin de limiter au maximum l'utilisation des pesticides, tout en assurant une protection des cultures et un minimum de rendement.

II.3. La production intégrée

Suite au lancement du plan national Ecophyto 2018 en 2008 qui vise entre autre à réduire la dépendance aux produits phytosanitaires, les principes de la production intégrée se développent davantage dans le monde agricole et scientifique.

Cependant, il ne faut pas oublier que les premiers groupes de travail européens sur la conduite intégrée des cultures ont débuté en 1959 et ses techniques ont été mentionnées pour la première fois dans les années 70 (VIAUX, 1999), et développée entre autres par Baggiolini et Steiner. Elle est arrivée au moment où des courants dissidents à l'agriculture conventionnelle se développaient et proposaient une agriculture totalement dénuée de produits de synthèse, l'agriculture biologique. La conduite intégrée propose donc une troisième voie, intermédiaire entre les deux extrêmes.

En 2000, 90 % des agriculteurs suisses pratiquaient ce type de conduite des cultures ou étaient en voie de l'être (Office fédérale de l'agriculture). En France, son évocation semble être restée discrète, surtout du côté du grand public, étant donné qu'il n'existe pas de cahier des charges en France sur ce type de production, et donc peu de moyens pour valoriser les produits, contrairement à l'agriculture biologique.

La production intégrée tente d'optimiser au maximum les mécanismes biologiques, mais également met en place une approche globale de l'exploitation en adaptant à la fois les rotations, l'assolement et la taille des parcelles. En réalité, elle emprunte bon nombres de techniques de l'agriculture biologique en autorisant l'utilisation de produits phytosanitaires seulement si cela s'avère nécessaire pour assurer un rendement minimum.

Ainsi, il semble intéressant de citer quelques mécanismes utilisés en conduite intégrée (VIAUX, 1999) :

- Associer des productions végétales annuelles et pérennes à des productions animales ;
- Avoir des rotations aussi longues que possible, et des successions conçues dans un but de limiter l'utilisation d'engrais et le développement des bioagresseurs (maladies, adventices, ravageurs) ;
- Ne pas avoir des parcelles trop grandes, tenir compte de la répartition des cultures dans l'espace (assolement) pour diminuer le risque sanitaire, mais aussi limiter le ruissellement et l'érosion ;
- Maintenir ou développer des zones non cultivées (haies, bosquets, bandes enherbées...), ceci permet de restaurer la faune sauvage et parmi elle des ennemis des ravageurs. De plus, ces zones auront en bordure de cours d'eau, un effet tampon vis-à-vis des pollutions, et auront ainsi un rôle de protection de la qualité de l'eau des ruisseaux ;
- Adopter des techniques de travail du sol sans labour afin de maintenir au mieux le taux de matière organique et l'activité biologique des sols, ce qui limitera également les fertilisants et l'érosion. Cependant, il s'agit d'être extrêmement vigilant par rapport au développement des adventices ;
- Choisir un objectif de rendement moyen accessible un an sur deux, ce qui ne pénalisera en aucun cas la capacité économique de l'exploitation ;
- Choisir des variétés résistantes aux maladies pouvant être propres à une zone géographique. Si les parcelles d'une même culture sont grandes, mettre plusieurs variétés au sein d'une même parcelle ;
- Ajuster la fertilisation au plus juste, en tenant compte des apports par les fumures organiques (composts, précédents culturaux).

En essayant de suivre ses principes, le recours aux produits phytosanitaires est limité, et ne doit se faire en aucun cas de manière préventive.

II.4 Pourquoi évaluer les systèmes de culture ?

En premier lieu, s'évaluer c'est progresser, et il existe peu de références en France sur les conduites de cultures intégrées, il est donc intéressant d'avoir des points de repères sur lesquels s'appuyer pour avancer dans ce domaine.

De plus, habituellement l'évaluation était réalisée pour chaque intervention isolée les unes des autres, mais cela s'avère peu pertinent. En effet, il s'agit ici d'évaluer un système de culture ou une exploitation dans sa globalité, afin de ne pas opposer les différents enjeux d'un système ou d'une exploitation, tels que les conséquences environnementales, économiques et sociales.

II.4.1 Plan Ecophyto 2018 (Grenelle de l'environnement 2007)

Le plan national Ecophyto lancé en 2008 est la traduction française de la politique européenne sur l'usage des produits phytosanitaires ; en effet, dans le cadre du « paquet pesticides » tous les Etats membres de l'Union Européenne mettent en place des stratégies visant à réduire l'usage de pesticides, tout en maintenant une performance économique de l'agriculture. Les agriculteurs ne sont pas les seuls à être mobilisés, chercheurs, techniciens, ingénieurs, conseillers de la chambre d'agriculture joignent leurs efforts déjà depuis de nombreuses années pour atteindre cet objectif (Plan Ecophyto, 2008).

Le plan est divisé en 8 axes de travail, constituant 105 actions au total, dont l'action 16 dans laquelle est engagée l'exploitation de Tart-le-Bas :

Engager les exploitations de l'enseignement et du développement agricoles à jouer un rôle moteur dans la généralisation des itinéraires techniques et des systèmes de cultures innovants.

Le plan national est ensuite adapté à chaque région, en fonction de son contexte économique et ses enjeux locaux. Pour la Bourgogne, région céréalière, l'enjeu de la qualité de l'eau est primordial, ainsi un réseau de surveillance de captages a été mis en place afin d'engager des actions concrètes au niveau des captages prioritaires. De plus des collaborations

entre agriculteurs sont organisées (action 14 du plan Ecophyto) afin d'expérimenter des techniques agricoles économes en intrants sur un territoire donné, constituant le réseau de fermes DEPHY (90 sites).

II.4.2 Les Réseaux Mixtes Technologiques (RMT)

Les réseaux mixtes technologiques (RMT) ont été créés pour faciliter le rapprochement entre les acteurs de la recherche, du développement et de la formation. L'exploitation de Tart-le-Bas s'inscrit dans le RMT « Système de culture innovants » qui a pour objectif de répondre aux enjeux de développement durable dans les exploitations céréalières ou en polyculture-élevage.

Il s'agit de faire partager des connaissances et des expériences entre les chercheurs et les agriculteurs afin de concevoir, d'évaluer, et d'expérimenter les systèmes de culture les plus intéressants. Ceci permettra d'acquérir des références au sein d'un réseau multilocal pour y développer la production intégrée. A ce titre l'exploitation de Tart-le-Bas sert de test, afin d'expérimenter en conditions économiques réelles les conduites de culture innovantes et durables.

II.5 Les objectifs et la problématique de l'étude

Le but est de faire une évaluation de la durabilité de systèmes de culture économes en intrants (pesticides) dans la plaine de Dijon, et ainsi participer à répondre aux objectifs de développement durable européens. De plus, la plaine de Dijon souffre d'une importante pollution de l'eau aux herbicides, il s'agit donc également de répondre à un objectif d'amélioration de la qualité de l'eau. La problématique de l'étude est donc la suivante:

Quelles sont les performances économiques, sociales et environnementales de systèmes de cultures économes en intrants dans la plaine de Dijon par opposition à un système conventionnel local dominant ? Quelles seraient les pistes d'amélioration possibles ?

L'évaluation est réalisée dans un premier temps en calculant un certain nombre d'indicateurs appartenant aux trois piliers de la durabilité : social, environnemental et économique, puis ceux-ci sont agrégés afin d'en retirer une appréciation globale de la durabilité pour chacun des deux systèmes de culture de l'exploitation et du système local dominant. A partir de cette évaluation, il sera intéressant de comparer la durabilité de ces systèmes de cultures innovants (Sdci) avec un système de culture conventionnel local évoluant dans le même contexte pédoclimatique.

II.6.Présentation du dispositif expérimental de Tart-le-Bas

II.6.1 Historique et parcellaire

La ferme de Tart-le-Bas est une ancienne distillerie qui dispose de nombreux bâtiments dont les usages ont varié avec le temps. L'activité de distillerie s'arrête dans les années 50. Les bâtiments déjà en partie utilisés à des fins agricoles sont désormais uniquement consacrés à cette activité, associés aux 136 ha de terres qui étaient utilisées pour la culture de la betterave. La ferme est mise à disposition du lycée agricole en 1977.

Les bâtiments se composent aujourd'hui d'un hangar à fourrage, 2 stabulations pour les vaches allaitantes et les jeunes bovins puis d'une remise pour le matériel. La SAU de la ferme représente 170 ha dont 60 ha de prairies permanentes, et 110 ha (figure 7) de cultures très variées : blé, orge (printemps et escourgeon), tournesol, pois protéagineux, maïs, soja, moutarde brune et luzerne/dactyle (fourrage).

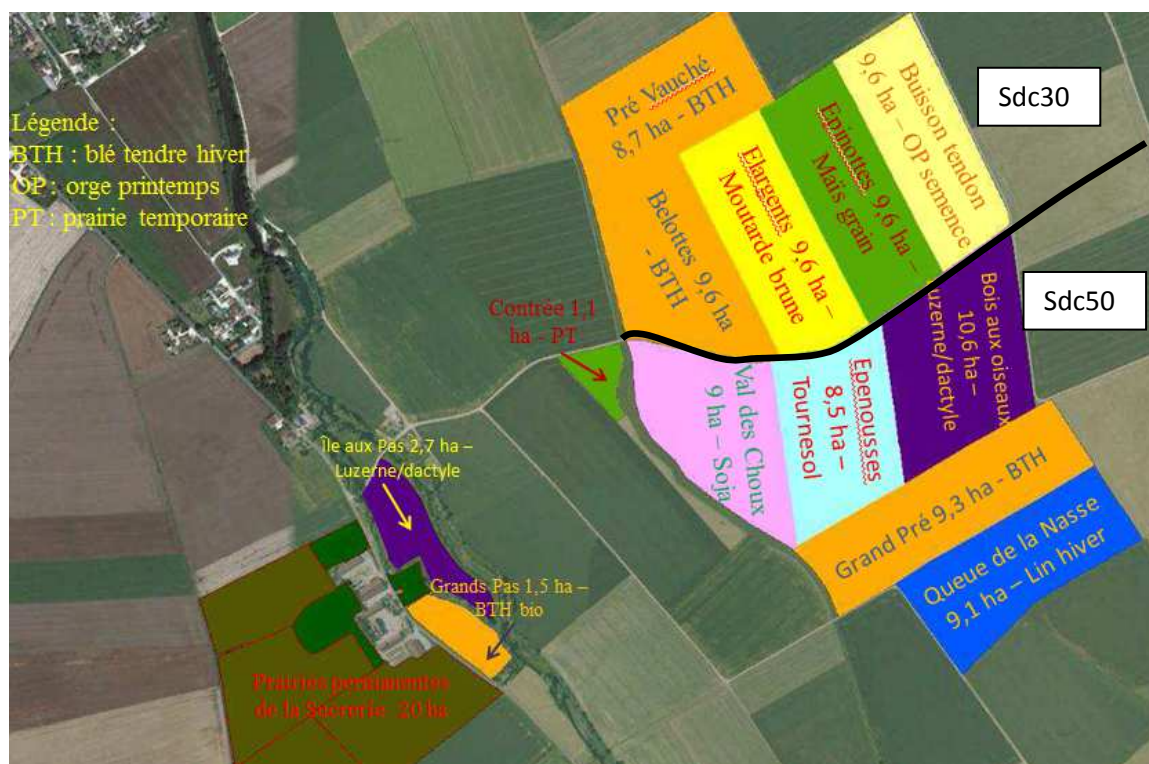


Figure 7 : Plan des parcelles de l'exploitation de Tart-le-Bas

II.6.2 Stratégies générales de conduite des cultures

Concernant la stratégie de conduite des cultures, l'exploitation se place depuis 2002 dans un objectif de forte réduction d'utilisation de pesticides. Cette mission est aujourd'hui relayée par le plan Ecophyto, ainsi la ferme peut désormais travailler au sein d'un réseau de partenaires de recherche et de développement, efficace et solide. Elle fait office de véritable laboratoire expérimental pour les futures pratiques agricoles répondant aux objectifs de développement durable.

De plus, elle participe à une étude réalisée sur la biodiversité en milieu agricole BiodivEA (Salvaudon, 2014) depuis 2011, après avoir répondu à un appel à projet de la Bergerie nationale.

Il y a deux systèmes de cultures principaux avec des objectifs de réduction d'usage de pesticides différents. Pour répondre à cette réduction, les principes de la lutte intégrée sont mis en place depuis 2002 et affinés au fil des années. Il s'agit essentiellement d'exploiter au maximum les mécanismes de prophylaxie de régulation naturelle des bioagresseurs en substitution à la lutte chimique.

III / Méthodologie

III.1 Les systèmes évalués

L'évaluation est réalisée sur les deux systèmes de culture de Tart-le-Bas, nommés Sdc30 et Sdc50, avec des objectifs respectifs de réduction d'utilisation des pesticides de 30% et 50% par rapport aux références régionales en termes d'IFT. Les deux systèmes sont constitués d'une rotation de 5 ans, avec une interruption de la succession pour le Sdc50 par une prairie temporaire tous les 15 ans.

Une première évaluation sera opérée sur le système de culture pratiqué (synthèse des interventions culturales) et une seconde sur le système de culture réalisé (cf. Synthèse bibliographique). Deux parcelles du Sdc50 ont été sélectionnées pour faire l'objet de l'évaluation du système réalisé, « Le pré Garrot » et « Les Epenousses », toutes deux présentent une rotation très proche du système de culture pratiqué.

III.2 Démarche générale d'évaluation d'un système de culture

- Acquisition des données brutes décrivant le système (itinéraires techniques ; succession des cultures ; contexte de production).
- Paramétrage du logiciel CRITER (Hirshy, 2014) et saisie des données brutes.
- Calcul d'indicateurs sociaux, économiques et environnementaux par CRITER en vue d'une première caractérisation dite pluricritère des performances du système de culture.
- D'autres indicateurs appréciés par le chef d'exploitation vont venir s'ajouter, afin de paramétrer cette fois le logiciel DEXi (Bohanec, 2011), pour appliquer la méthode MASC (Craheix, 2011) d'agrégation de critères en vue d'une évaluation globale et multicritère de la durabilité du système de culture.

III.3 Détermination d'un système local dominant

III.3.1 Nécessité d'identifier un système de référence

Il est nécessaire de pouvoir comparer les résultats d'une évaluation afin de pouvoir apprécier les améliorations éventuelles d'un système de culture innovant, avec un système conventionnel. De plus, si les améliorations s'avèrent probantes, la comparaison facilitera nettement le travail de communication auprès des acteurs du monde agricole, afin de promouvoir au mieux des nouvelles pratiques répondant aux objectifs du développement durable.

III.3.2 Modalités de recherche et d'identification du système de culture de référence

Le choix du système de culture de référence peut s'avérer délicat, en effet il faut s'attacher à « comparer ce qui est comparable ». Les conditions pédo-climatiques et économiques des différents systèmes comparés (innovant et référence) doivent être les plus proches possibles afin de limiter au maximum les biais pouvant fausser les résultats. Il est donc judicieux de sélectionner dans un premier temps des systèmes de cultures temporellement et géographiquement très proches. Il s'agira donc ici de systèmes de culture évoluant au cours des mêmes années, mais également situés au sein d'une même entité pédo-géologique, ici la plaine alluviale de Dijon, afin d'homogénéiser au maximum les conditions de production. Pour toutes ces raisons, les précédents travaux réalisés sur les systèmes de référence (communication personnelle de Violaine Deytieux) ont conduit à nommer ces systèmes *Système Local Dominant* (SdcLoDo).

Pour cette étude, le système local dominant retenu correspond à un des systèmes expérimentaux de l'INRA d'Epoisses sur la commune de Bretenière; localisé à 5km des systèmes à évaluer de Tart-le-Bas. Ce système avait été déterminé au cours d'une précédente étude (Hirshy, 2013). Il n'a pas été déterminé spécifiquement pour les systèmes de Tart-le-Bas, et malgré sa relative proximité géographique il est possible qu'il existe un SdcLoDo plus intéressant, cependant il a été convenu que celui-ci était tout à fait exploitable dans le cadre de cette étude.

En effet, le SdcLoDo d'Epoisses et les Sdci de Tart-le-Bas présentent d'importantes similitudes pédologiques (sol argileux), climatiques (climat de la plaine de Dijon), de plus ils évoluent en parallèle donc dans le même contexte

économique et technologique. Pour finir, le système de référence et les systèmes innovants sont conduits par deux agriculteurs distincts, ainsi ils ne sont pas influencés par leurs pratiques respectives.

III.4 Modalités d'acquisition des données brutes des systèmes de culture de Tart-le-Bas

Les données brutes des deux Sdci de Tart-le-Bas sont constituées des données du système de culture pratiqué et celles du système de culture réalisé. Pour un même système de culture, ces deux groupes de données peuvent être très différents, notamment sur une exploitation agricole telle que Tart-le-Bas qui n'est pas un simple site expérimental. En effet, elle doit fonctionner comme n'importe quelle autre exploitation avec des cultures sous contrat, et donc des impératifs d'assolement qui peuvent entraîner une modulation de la succession, pas nécessairement idéal agronomiquement.

Les itinéraires techniques du système de culture pratiqué ont été rédigés en collaboration avec le chef d'exploitation. Les itinéraires techniques du système de culture réalisé sont disponibles via le logiciel Agrimap où les employés de l'exploitation saisissent leurs interventions aux champs régulièrement.

III.5 Description des systèmes de cultures évalués

III.5.1 Système de culture Local Dominant

Pour des raisons de confidentialité les itinéraires techniques ne seront pas détaillés. Cependant la stratégie globale du SdcLoDo correspond à la conduite appliquée majoritairement appliquée dans la petite région agricole de la plaine de Dijon, avec une rotation constituée uniquement de cultures d'hiver : Colza-Blé-Orge.

III.5.2 Systèmes de cultures innovants du site de Tart-le-Bas

III.5.2.1 Grands traits des Sdci

Pour atteindre les objectifs des deux Sdci, un ensemble de stratégies alternatives aux pesticides est mis en place. Pour le Sdc30, les stratégies de lutte sont une combinaison de contrôles culturaux, de lutte chimique, physique, et biologique. Ce système fonctionne avec 2 cultures d'été en tête de rotation, suivies de 2 cultures d'hiver puis une culture de printemps, l'objectif étant de varier les périodes de semis. Le labour n'est pas systématique et est positionné pour des impératifs de structure de sol avant les cultures de printemps, ayant souvent un enracinement délicat. Il y a également du désherbage mécanique, du faux semis et une utilisation des pesticides raisonnée et réduite.

Le compost pailleux bovin provenant de la ferme, comble une partie des besoins phosphopotassiques des cultures. Les besoins azotés doivent être assurés par des fertilisants minéraux, étant donné que la seule présence du soja au sein de ce système comme ressource d'azote symbiotique est très insuffisante.

Le Sdc50 substitue davantage la lutte chimique à des techniques alternatives. En effet, les alternances culture de printemps/hiver et labour/non labour sont beaucoup plus marquées, mais l'importante différence avec le Sdc30 est l'interruption de la rotation par l'implantation de trois années d'une prairie temporaire riche en luzerne.

La luzerne a un impact positif en agissant sur trois axes agronomiques : limiter le cycle des vivaces en étant très compétitif ; restructurer le sol par l'entretien du taux de matière organique ; apporter de l'azote symbiotique.

La mixité élevage/culture est également beaucoup plus marquée pour ce système. En effet, la culture luzerne/dactyle est entièrement dédiée à la nourriture pour les animaux de la ferme et suffit quasiment à combler leurs besoins, complétés par le pois protéagineux et l'escourgeon (orge d'hiver).

Les itinéraires techniques et schémas décisionnels détaillés sont disponibles à l'annexe X.

Pour les deux systèmes, Sd30 et Sdc50, les variétés de semences sont sélectionnées pour être peu sensibles aux maladies et résistantes à certains ravageurs, adaptées aux conditions locales, du désherbage mécanique

III.5.2.2 Successions des cultures

Concernant les successions culturales des deux systèmes de Tart-le-Bas, elles ont été réfléchies pour se faire succéder des espèces ayant des besoins nutritionnels les plus variées possibles, afin de ne pas épuiser les ressources naturelles du sol, et ainsi limiter le recours aux fertilisants de synthèse.

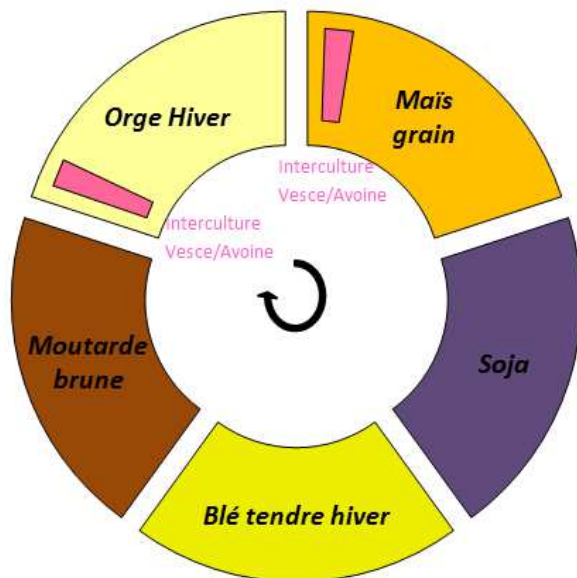


Figure 8 : Rotation des cultures du Sdc30

Les mêmes principes sont appliqués pour le système en Z50 (figure 9). Trois ans de prairie temporaire d'une légumineuse associée à une graminée (luzerne/dactyle) redonne au sol de la matière organique et des éléments nutritifs, et complètent parfaitement l'activité d'élevage de l'exploitation. Par la suite une légumineuse (le pois) est introduite au centre de chaque sous rotation et une interculture d'une légumineuse alliée à une céréale est implantée avant chaque culture de printemps (orge, tournesol, maïs).

En effet, pour le Sdc30, une légumineuse (le soja), et une culture couramment utilisée comme engrais vert (la moutarde), séparent les cultures fortes demandeuses en azote (maïs, blé, orge). De plus, une interculture de légumineuse associée à une céréale (vesce/avoine) précède les cultures de printemps (orge et maïs), afin de redonner au sol des éléments nutritifs mais surtout respecter la directive « Nitrates » qui impose la couverture des sols afin limiter la lixiviation entre les cultures d'hiver et de printemps (figure 8)

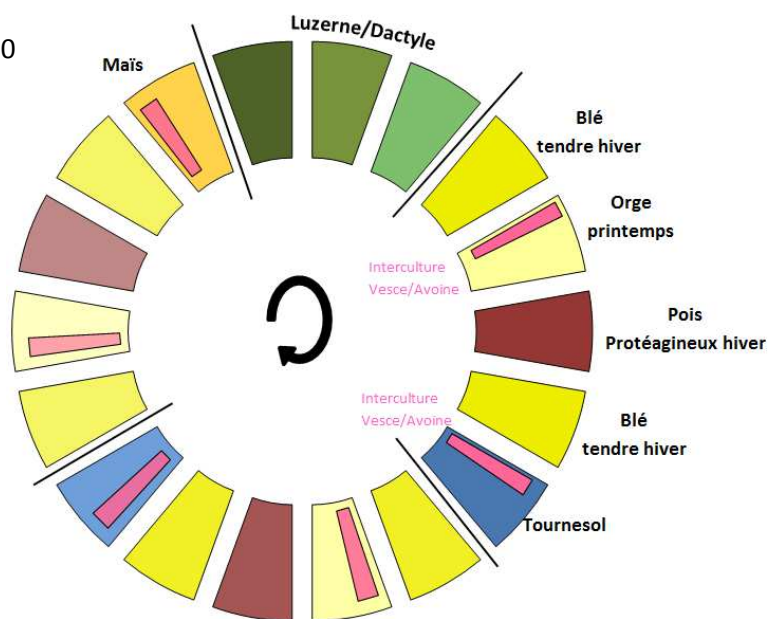


Figure 9 : Rotation des cultures du Sdc50

III.6.Caractérisation des systèmes de culture

III.6.1 Présentation de l'outil CRITER

Le logiciel CRITER a été conçu pour calculer des indicateurs élémentaires décrivant les performances des systèmes de culture au niveau des trois piliers de la durabilité, économie, social et environnement (Bruntland, 1987). Les calculs sont réalisés à partir d'un paramétrage fait au préalable sur le contexte de production (sol, climat, prix, propriétés physico-chimiques des cultures...), et la saisie des itinéraires techniques et des résultats de récolte pour chacune des cultures d'une rotation. L'outil calcule au total 59 indicateurs dont 9 économiques, 7 sociaux, et 43 environnementaux.

Les variables (ou indicateurs) calculés par CRITER ont différentes finalités :

- Les *Variables basiques nécessaires à MASC* (cf. III.7) pourront être utilisées directement pour renseigner les critères basiques de l'arbre MASC 2.0, conçu pour évaluer la durabilité globale d'un système de culture ;
- Les *Variables entrant dans les arbres satellites de MASC* sont destinés à être agrégés par MASC (Craheix et al, 2012) pour renseigner certains de ses critères basiques appelés « arbres satellites » résultant d'une première agrégation car jugés trop complexes pour être estimés par un calcul simple ;
- Les *Variables de diagnostic* sont des indicateurs secondaires et ne correspondent qu'à une étape intermédiaire pour le calcul de l'indicateur principal, elles permettent essentiellement de comprendre le résultat final du calcul;

CRITER et MASC ont été conçus pour suivre des systèmes de grandes cultures, ces outils s'avèrent moins appropriés pour d'autres types de systèmes. Sachant que les systèmes de culture de Tart-le-Bas fonctionnent de manière plus ou moins marquée avec l'atelier d'élevage, certaines adaptations ont été nécessaires dans le paramétrage de CRITER afin de retranscrire au mieux la situation réelle.

III.6.2 Paramétrage de CRITER

Le logiciel CRITER (Hirshy, 2014)) a besoin d'être paramétré sur différents thèmes concernant les systèmes de culture avant de pouvoir sélectionner les caractéristiques constituant les itinéraires techniques et les données de récolte propre au système de culture à évaluer.

Les différents thèmes à paramétrer dans CRITER sont : les **cultures**, les **caractéristiques de sols**, la **météorologie**, les **outils** utilisés pour chaque intervention sur les cultures, les **fertilisants**, les **produits phytosanitaires** et d'autres caractéristiques nécessaires à certaines variables de MASC.

Les données (*prix, paramètres physico-chimiques...*), décrivant les **cultures**, les **fertilisants**, **produits phytosanitaires**, les **outils** et certaines variables de MASC ont été préalablement renseignées par les ingénieurs de l'INRA. Certaines caractéristiques peuvent y être modifiées ou rajoutées pour les besoins de l'étude, comme par exemple les produits phytosanitaires, étant donné qu'il y a des nouvelles molécules qui arrivent sur le marché régulièrement. Cependant il faut être très prudent car les liens existants entre les différentes tables de données de CRITER sont extrêmement complexes, seules des personnes connaissant parfaitement le fonctionnement du logiciel peuvent modifier certaines informations sans que cela nuise à la légitimité et la qualité des résultats.

Le paramétrage des outils configuré par l'INRA, correspond davantage à des choix d'interventions que d'outils, ceci afin d'homogénéiser le contexte de production et ne pas faire intervenir les différences technologiques du parc matériel d'une exploitation mais bien les stratégies d'exploitation. Ainsi, par exemple au lieu de choisir un type de charrue, on choisira « Labour ». Ensuite, chaque outil ou « intervention » est indexé à trois fréquences d'utilisation distinctes (faible, moyenne, forte), faisant référence à leur rentabilité économique au sein de l'exploitation. Le paramétrage des outils (fréquence d'utilisation, consommation d'énergie...) a été réalisé suivant le barème d'entraide 2012-2013 du Réseau CUMA Nord-Est. Dans la première version de Criter, les utilisateurs saisissaient les paramètres de chaque outil présent dans leur exploitation ; cela était extrêmement laborieux et induisait des biais importants (moyens financiers, accessibilité à une CUMA...).

Les données propres au contexte local de production « sol-climat-prix » doivent être paramétrées par chaque utilisateur et peut-être fait sans risques de corrompre la base de données de CRITER.

Les **données pédologiques** proviennent d'analyses de sol, réalisée sur chaque parcelle de l'exploitation en 2003 (physique) et 2009 (chimie).

Les **données météorologiques** proviennent de la station météorologique du domaine expérimental d'Epoisses de l'INRA (à 5km de Tart-le-Bas), et correspondent à celles de l'année 1996 identifiée comme une année médiane d'un point de vue des risques de lixiviation, sachant que les caractéristiques météorologiques entrent en compte uniquement dans le calcul de cet indicateur.

Les **prix de vente** des cultures sont propres à chaque contexte économique, il est facile de les modifier selon les hypothèses de contexte économique que l'on souhaite affecter au système. Ici trois hypothèses de prix ont été considérées : basse, moyenne, haute. Afin de pouvoir facilement comparer les résultats avec d'autres systèmes, des barèmes de prix utilisés par le plus grand nombre ont été retenus, ainsi les prix du calculateur STEPHY (AUBERTOT,

2010) ont été choisis pour l'évaluation. Ce calculateur a été mis en place à destination des agriculteurs pour permettre de réaliser une évaluation rapide de leur système en vue d'une co-conception (chercheur et agriculteur) d'un nouveau système plus durable.

Les prix des engrais, sont paramétrés dans un premier temps par l'INRA, puis il a été décidé plusieurs scénarios de prix. En effet, ces prix subissent de plus en plus de fluctuations, il est donc intéressant de voir quelle influence cela peut avoir sur les indicateurs économiques des systèmes. Des prix hauts de vente des cultures seront indexés à des prix hauts d'engrais et inversement des prix bas de vente des cultures correspondront à des prix bas d'engrais. Ce paramétrage a pour origine une observation faite par le chef de l'exploitation depuis plusieurs années et confirmée par une publication de l'Assemblée Permanente des Chambres D'agriculture (Pons, 2013), où il a été observé ces dernières années que le prix du blé devenait une variable significative pour expliquer le prix des engrais azotés. Dès que le prix du blé flambe, le prix des engrais subit une hausse quelques mois plus tard, cela agirait comme une incitation des agriculteurs à produire plus si le prix du blé est haut, cependant les origines de ce lien restent très complexes, il faut rester prudent sur ces conclusions.

Le paramétrage de CRITER demande également de renseigner certaines caractéristiques de la parcelle du système à évaluer. Pour les systèmes de Tart-le-Bas « pratiqués », l'hypothèse d'une parcelle moyenne d'une surface de 10 ha a été prise en compte, correspondant à une surface moyenne sur l'ensemble des parcelles de l'exploitation. De plus les parcelles sont considérées homogènes d'un point de vue pédologique, et avec une pente nulle. Concernant, l'évaluation des systèmes de culture « réalisés », les surfaces réelles des deux parcelles évaluées ont été paramétrées.

D'autres hypothèses ont dû être prises afin d'adapter le système de Tart-le-Bas au logiciel CRITER. En effet CRITER ne prend pas en compte la mixité polyculture/élevage, alors que l'élevage fait partie intégrante des deux systèmes de cultures en apportant des fertilisants organiques, et en se nourrissant des résidus de récolte, de la prairie temporaire de luzerne/dactyle, et d'une partie du pois et de l'escourgeon. Certains produits de récolte ne sont donc pas vendus, à première vue les pailles et la luzerne ne devraient donc pas avoir de prix de vente, cependant il est important de leur en attribuer un, afin de considérer le système indépendamment de l'élevage. Ce prix de vente correspond à une vente des pailles et de la luzerne à un éleveur « fictif » extérieur à la ferme De plus, le prix du compost bovin a été indexé à 0, étant donné qu'il provient du troupeau de l'exploitation, cependant le prix de vente des pailles a été rabaisé par rapport au prix du marché afin de compenser la gratuité de la fertilisation organique (décision au sein du RMT Sdci).

III.6.3 Choix des indicateurs retenus pour la caractérisation des systèmes de culture

Les indicateurs mentionnés ici sont sélectionnés pour leur pertinence économique, sociale, environnementale et leur adéquation par rapport aux enjeux locaux (cf. II.2.1 *Qualité de l'eau*). Ils ne correspondent donc qu'à une partie des 59 indicateurs calculés par CRITER. Il est également judicieux de s'attacher à ce que les critères choisis soient non redondants.

III.6.3.1. Indicateurs économiques

Tableau 3 : Indicateurs économiques

Indicateur	Libellé	Unité	Description
MSN	Marge semi-nette	€/ha/an	Rentabilité
IND	Indépendance économique	%	Indépendance vis-à-vis des aides perçues
EFF	Efficiencia économique	%	Indépendance du produit brut face aux ressources financières mobilisées (retour sur investissement)

III.6.3.2 Indicateurs sociaux

Tableau 4 : Indicateurs sociaux

Indicateur	Libellé	Unité	Description
EMP	Contribution à l'emploi	Nb de salariés	Nb d'emplois nécessaire au fonctionnement de l'exploitation
FMP	Fourniture en matière première	%	Rendement à l'hectare par rapport à un système conventionnel
TOX	Toxicité pour l'applicateur	Nb de passage par produit classé Xn, T, T+	Risque pour la santé de l'applicateur

III.6.3.3 Indicateurs environnementaux

Pour certains de ces calculs, la méthode INDIGO (Bockstaller, 2008) est appliquée. Cette méthode a été spécialement conçue par l'INRA de Colmar et Nancy et en collaboration avec l'ARAA (Association pour la Relance Agronomique en Alsace) afin d'estimer les impacts environnementaux par le calcul d'indicateurs agri-environnementaux simples et lisibles pour l'utilisateur. Elle donne une note entre 0 (risque maximal pour l'environnement) et 10 (risque nul), 7 est la note recommandée. Les données brutes décrivant les systèmes de culture sont à rentrer dans une base de données créée sous le logiciel Access qui permet de calculer les indicateurs. Ici, la méthode INDIGO est directement intégrée au logiciel CRITER.

Tableau 3 : Indicateurs environnementaux

Indicateur	Libellé	Unité	Description
Pression énergétique			
CEN	Consommation en énergie	Gj/ha/an	Energie total consommée par les interventions culturales
EEN	Efficiencie énergétique	Sans unité	Rapport production/ consommation d'énergie
Qualité eau			
MPEP	Maîtrise des pertes des pesticides dans les eaux profondes	Note Indigo (entre 0 et 10)	Note élevée égale maîtrise élevée
MPES	Maîtrise des pertes des pesticides dans les eaux superficielles		
MNO3	Quantité de nitrates lixiviés sous forme NO ₃ ⁻		
Qualité du sol			
MSO	Maîtrise du statut organique	Note Indigo (entre 0 et 10)	Note élevée égale maîtrise élevée
Pression sur la biodiversité			
IFT T	Indice de fréquence de traitement Total	Point IFT	Intensité d'utilisation de pesticides
IFT H	Indice de fréquence de traitements Herbicides	Point IFT	Intensité d'utilisation d'herbicides, d'insecticides et de fongicides.
IFT Rav	Indice de fréquence de traitements Insecticides	Point IFT	
IFT F	Indice de fréquence de traitements Fongicides	Point IFT	

III.7. Evaluation multicritère ou globale

III.7.1. Présentation de la méthode MASC

La méthode MASC (Craheix, 2011) a été proposée et conçue par un groupe de chercheurs et d'enseignants de l'INRA et d'établissements d'enseignements supérieurs. Cette méthode a pour objectif d'identifier les systèmes de cultures contribuant le plus au développement durable. Une première version MASC 1.0 a été diffusée dans un but d'être testée par différents acteurs du milieu agricole (recherche et développement). Les différentes critiques de ces premiers utilisateurs ont été utilisées pour améliorer la méthode et créer la deuxième version, MASC 2.0 utilisée pour cette présente étude.

La méthode MASC est extrêmement intéressante à plusieurs niveaux car elle évalue la durabilité des systèmes de culture :

- Sur les trois piliers du développement durable (économique, social et environnemental),
- *A posteriori* (déjà existants) et *a priori* (fictifs),
- Et sur l'ensemble d'une succession culturale (systèmes pluriannuels).

Sachant que la plupart des méthodes déjà existantes s'attachent à évaluer uniquement la dimension environnementale, sur des systèmes *a posteriori* et ne s'étendant que sur une seule année de culture.

Cette dernière particularité est extrêmement intéressante car la stratégie de la succession culturale a une grande influence sur les pressions environnementales et les performances agronomiques ; prendre en compte toute la durée de la rotation est donc très intéressant pour estimer ces paramètres à long terme. De plus, la rentabilité d'un système peut très bien s'avérer intéressante sur toute la durée d'une rotation et pas sur une seule année.

III.7.2 L'arbre MASC

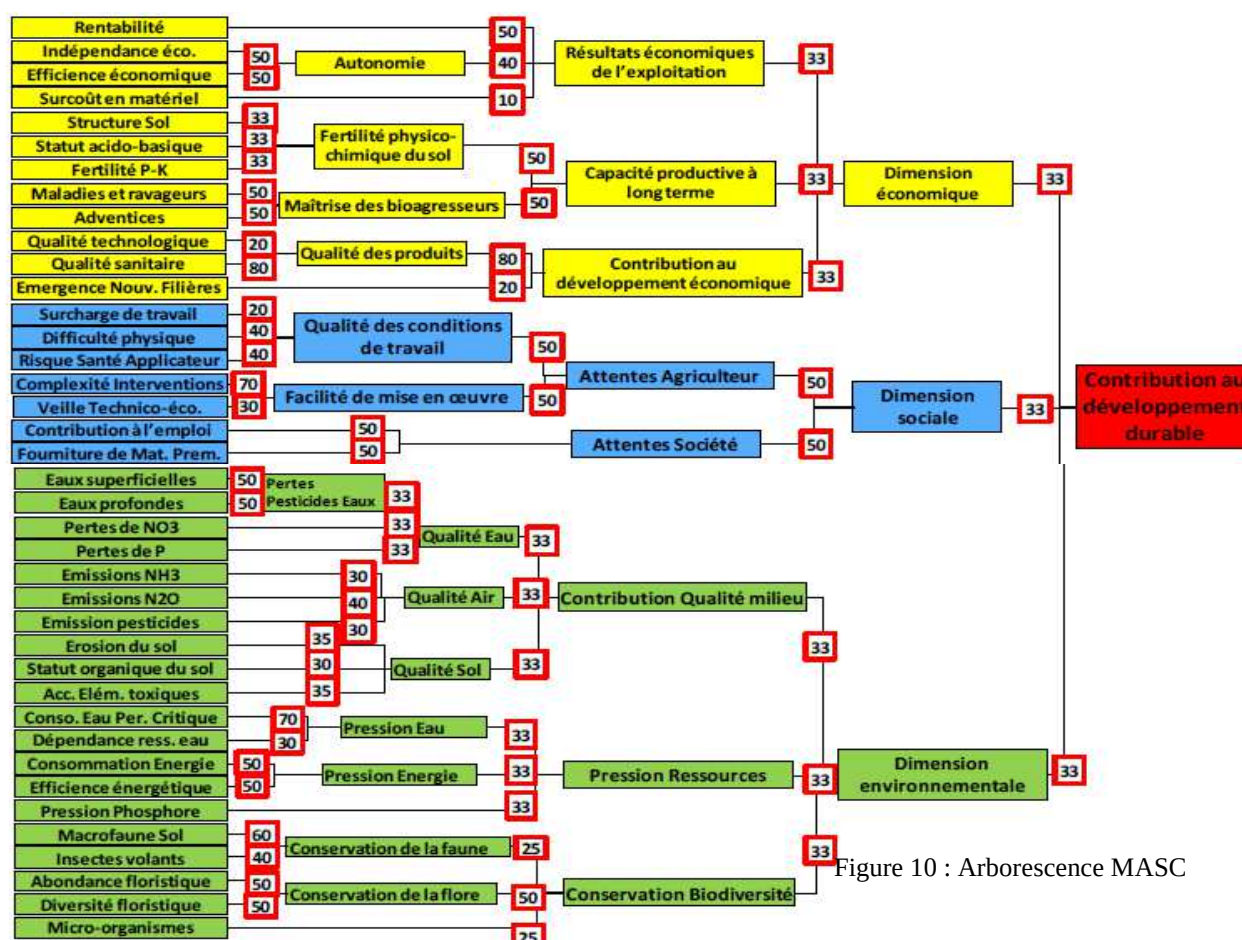


Figure 10 : Arborescence MASC

La méthode d'évaluation MASC se présente sous la forme d'une arborescence, qui symbolise les différentes étapes

d'agrégation de critères économiques, sociaux et environnementaux.

L'arbre MASC 2.0 est constitué de 39 critères basiques et 26 critères agrégés (figure 10).

Les critères sont agrégés selon des règles de décision établis au préalable par les concepteurs ou les utilisateurs avertis. Ces règles correspondent à toutes les combinaisons possibles entre les critères d'un niveau inférieur et destinés à être agrégés, et ainsi passer au niveau supérieur. Ces règles sont de type « si alors », par exemple si un critère A est égale à... et un critère B est égale à *alors* le critère agrégé sera égale à...

Il est important de spécifier ici la différence entre les notions de « critère » et d'« indicateur » au sein de la méthode MASC. Les indicateurs résultent de calculs simples chargés de renseigner la qualité des critères basiques, par exemple la *Marge Semi-Nette* est l'indicateur du critère basique *Rentabilité*. Les critères agrégés correspondent à des domaines de préoccupation de la durabilité.

Les critères basiques ne peuvent pas être modifiés, cependant il est toujours possible d'adapter les indicateurs à un contexte local si ceux-ci gardent la même finalité.

La structure de l'arbre ne peut pas être modifiée. Les concepteurs de MASC se sont attachés à concevoir un arbre capable d'évaluer la durabilité des systèmes de culture sur plusieurs niveaux d'échelle, on parle ici de durabilité dite « restreinte » ou « étendue ».

La durabilité restreinte d'un système correspond à sa survie propre, à s'auto-reproduire (rentabilité, fertilité...) sans les préoccupations sociétales l'entourant, alors qu'au contraire la durabilité étendue est sa capacité à être durable au sein de la société, à répondre aux attentes des filières et des politiques locales (qualité technologique des produits, contribution à l'emploi, qualité de l'eau...).

Des critères agronomiques sont présents dans la dimension économique, alors qu'à première vue, ils dépendent de paramètres environnementaux. Cependant, les performances agronomiques d'un système de culture vont être importantes pour sa capacité productive et donc son insertion économique à long terme dans la société.

III.7.3 Les critères d'entrée de l'arbre MASC

Les critères d'entrée de l'arbre MASC sont appelés critères basiques et correspondent à la première colonne de l'arborescence MASC.

Ils ont été choisis par les concepteurs de MASC, afin de faire une description des systèmes la plus complète et pertinente possible.

Ils ont plusieurs origines, ils peuvent être soit :

- Calculés directement par CRITER ;
- Estimés directement par l'expérimentateur (Annexe 6) ;
- Issus des arbres satellites (AS).

A noter que le critère *Surcoût en matériel* a été pondéré à 0 car il se trouve redondant avec le calcul des charges de mécanisation au sein du critère *Rentabilité*.

III.7.4 Les arbres satellites

Les arbres satellites sont des indicateurs composites. Ils contribuent à renseigner certains critères basiques ou d'entrée de l'arbre MASC, mais résultent d'une précédente agrégation réalisée par MASC dans le logiciel DEXi (Bohanec, 2011), ou directement d'une appréciation de l'expérimentateur du système de culture. Ces critères basiques ont été jugés trop complexes, influencés par trop de paramètres pour être obtenus par un calcul simple (tableau 6).

Tableau 6: Arbres satellites de Masc

Arbres satellites	Sources	Critères constituant l'arbre
Maîtrise du statut acido-basique du sol	Expérimentateur	
Maîtrise de l'état structural du sol	Expérimentateur	
Maîtrise de la fertilité PK	Expérimentateur	
Maîtrise des maladies et ravageurs	Expérimentateur	
Maîtrise des adventices	Expérimentateur	
Maîtrise des pertes de P	Expérimentateur	- Méthode d'incorporation des amendements - Maîtrise de l'érosion - Etat de fertilité initiale de P
	CRITER	- Quantité de P apportée en moyenne (QAP)
Maîtrise de l'érosion	Expérimentateur	
Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau	CRITER	- Demande en eau des cultures (Dmeau) - Autonomie de la ressource (Autea)
Conservation des insectes volants	CRITER	- Effet de la diversité des familles cultivées (DFC) - IFT Insecticides (IFT Rav)
Conservation de la macrofaune du sol	Expérimentateur	- Effet du travail du sol
	CRITER	- Effet des apports de MO (MSO) - IFT Insecticides
Diversité floristique	Expérimentateur	
Conservation des micro-organismes du sol	CRITER	- Effet des apports de MO - Effet des pesticides (IFT T) - Effet de la diversité des familles cultivées

Dans la méthode MASC, tous les arbres satellites sont censés être une agrégation d'indicateurs, cependant certains critères ont été jugés plus pertinents en étant appréciés à dire d'expert, ici l'expérimentateur ou le chef d'exploitation. Pour répondre à cette exigence, un fichier d'aide à la décision a été créé au sein du RMT (Annexe 6). Pour les arbres satellites dont le critère résultent à la fois d'indicateurs à dire d'expert et calculés, l'expérimentateur doit se référer au rapport ayant pour titre « Jeu complet de fiches critères MASC 2.0 » qui présentent des leviers d'aides à la décision.

III.7.5 La classification des critères basiques

La classification qualitative des critères basiques par la détermination de valeurs seuils a été réalisée au préalable au sein du RMT Sdci. Ces valeurs n'ont pas été modifiées pour la présente étude. Les critères ont été discrétisés en trois ou quatre classes (Annexe Valeurs seuils).

III.7.6 La pondération de chaque branche

La pondération est extrêmement intéressante pour donner plus ou moins d'importance aux différentes préoccupations de la durabilité. Cependant, la version actuelle de MASC permet très difficilement de modifier la pondération de chaque branche de l'arbre. Face à la quantité de critères incorporés à la méthode MASC 2.0, cette opération est aujourd'hui extrêmement complexe à mettre en œuvre, et est fortement déconseillée à réaliser sans être accompagnée par une personne spécialiste.

En effet, si l'on veut modifier la pondération des branches, il faut revoir toutes les règles de décision établis pour chaque étape d'agrégation. Pour la présente étude, la pondération établie par défaut qui donne le même poids pour chaque dimension de la durabilité a été conservée (figure 9).

III.7.7 Les différents scénarii affectés à l'arbre MASC

Pour cette étude, il a été décidé de faire plusieurs scénarios de prix de vente des cultures et d'achat des engrais minéraux (Cf. Paramétrage de CRITER) qui affecteront les trois critères basiques *Rentabilité*, *Indépendance économique* et *Effizienz économique* de l'arbre et donc les critères agrégés *Résultats économiques de l'exploitation* et la *Dimension économique*.

En effet, les prix sont un des paramètres les plus instables, ainsi il est intéressant de regarder comment un système de culture réagit face à différentes situations économiques.

IV / Résultats

IV.1 Caractérisation des performances des systèmes de culture

Tous les indicateurs calculés et présentés dans ces graphiques, correspondent à une moyenne sur toute la durée de la rotation de chaque système de culture. De plus, les marges semi-nettes indiquées, sont calculées sans les aides financières que reçoivent les exploitations agricoles, sachant qu'elles diffèrent selon chaque exploitation.

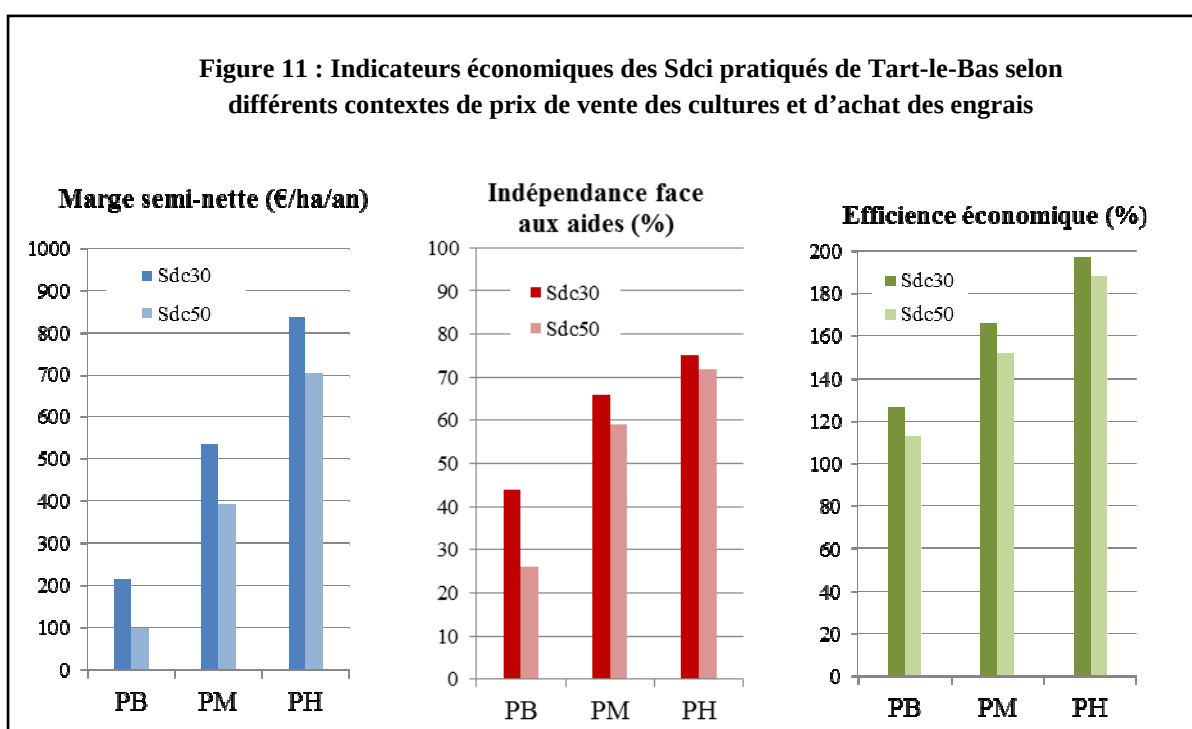
IV.1.1 Evaluation des Sdc pratiqués Sdc30 et Sdc50 de Tart-le-Bas

Rappel : Le système de culture pratiqué est une synthèse des interventions culturales appliquées sur l'ensemble des parcelles d'un système de culture, à partir d'un historique de 2 à 5 ans le plus souvent. Les pratiques récurrentes et les variantes sont distinguées par la détermination de fréquence d'interventions selon un contexte précis (PETIT, 2012).

Les durées de rotation respectives pour le Sdc30 et le Sdc50 pratiqués sont égales à 5ans et 18 ans.

IV.1.1.1 Evaluation économique

Les hypothèses de prix considérées sont précisées dans l'annexe 2.



Le Sdc30 est visiblement plus performant sur les trois indicateurs économiques indiqués dans ce graphique. Pour chaque catégorie de prix la différence de marge semi-nette entre les deux systèmes s'étend de 116 à 145 euros, en

moyenne le Sdc30 rapporte 130 euros/ha/an de plus que le Sdc50. Pour une exploitation de 110 hectares, cela correspond à une marge de 14 300 euros.

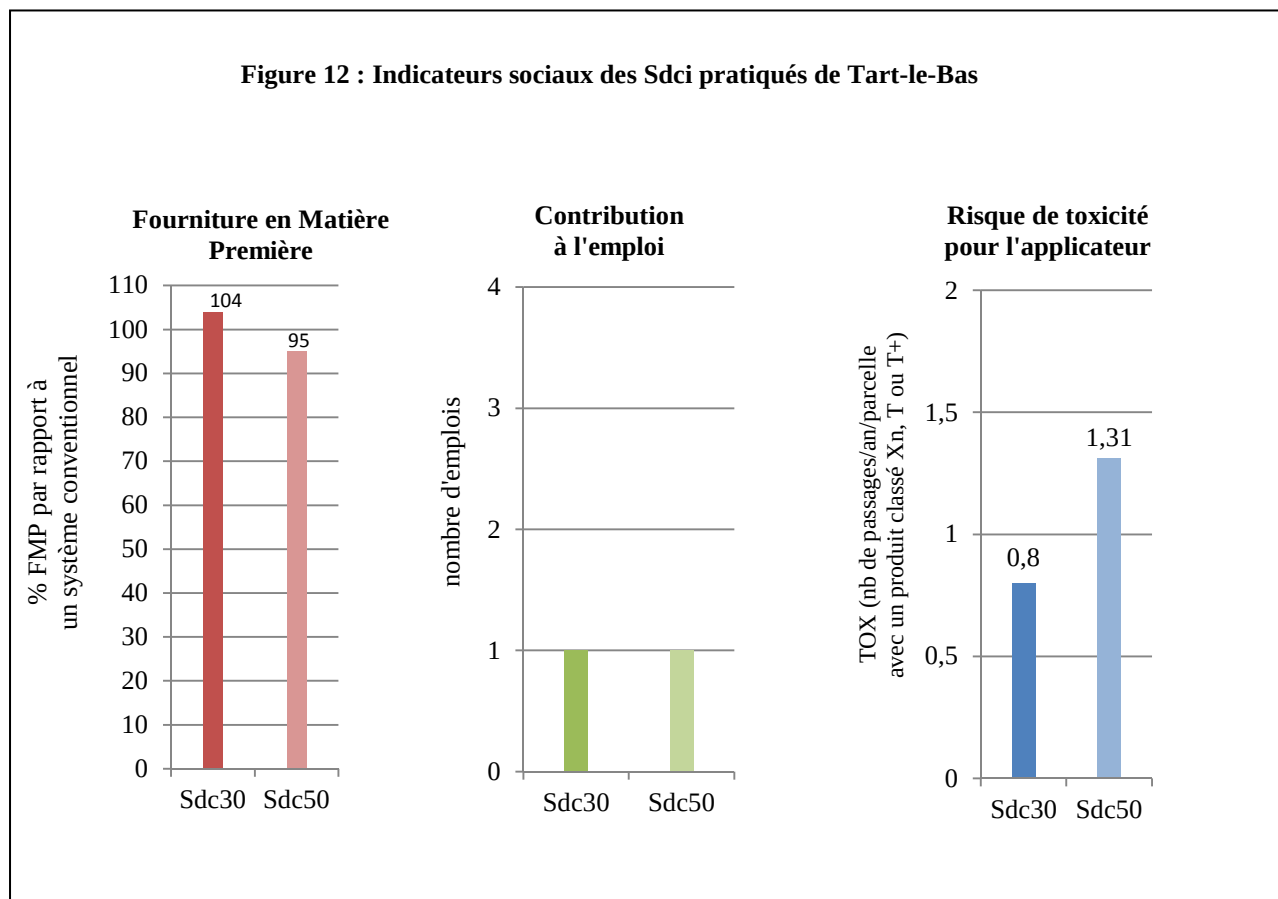
De manière générale, la relative faiblesse du Sdc50 s'explique par un rendement légèrement inférieur (cf. IV.1.1.2 *Evaluation sociale*), et le fait que toutes les cultures du Sdc30 sont intégrées à des débouchés plus stables que des cultures comme le pois et la luzerne présents dans la rotation du Sdc50.

Concernant l'efficacité économique (ou le retour sur investissement), le Sdc50 est légèrement plus faible mais reste, à une quinzaine de pourcents près, proche du Sdc30. En d'autres termes, même si par exemple la marge semi-nette (MSN) est moitié moins élevée que le Sdc30 en situation de prix bas, le rapport entre les ressources financières mobilisées et le résultat atteint est très proche pour les deux systèmes.

Le pourcentage d'indépendance par rapport aux aides financières correspond à la part de la MSN comptabilisée sans les aides financières. Elle est deux fois plus importante pour le Sdc30 en prix bas, 7 % plus importante en prix moyens, et quasiment identique pour les deux systèmes de culture en prix hauts.

IV.1.1.2 Evaluation sociale

Figure 12 : Indicateurs sociaux des Sdc pratiqués de Tart-le-Bas



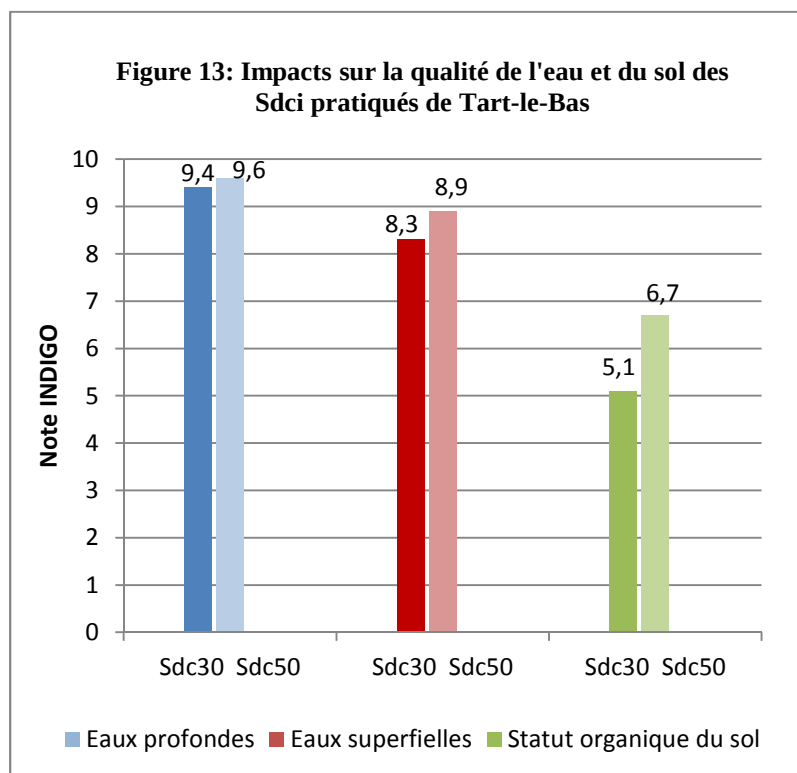
Pour le calcul du taux de fourniture en matière première, à quelques pourcents près, il est prudent de ne pas tirer de conclusions hâtives. En effet, il n'est pas toujours aisé d'identifier des rendements référents, sachant que parmi les sols référents bourguignons aucun ne correspond exactement aux caractéristiques moyennes du sol de Tart-le-Bas, Pour le Sdc30, le taux de fourniture en matière première semble être légèrement supérieur aux rendements référents bourguignons (figure 12). Ce résultat est essentiellement dû à la culture de moutarde qui atteint un taux FMP de 125%. Avec un taux de FMP de 95%, le Sdc50 reste très compétitif par rapport aux attentes de la société. Les cultures de blé, tournesol, pois atteignent un taux proche de 90 %, l'orge et le maïs sont à 100%, et les rendements de luzerne sont légèrement supérieurs à 100%.

Si l'on considère uniquement l'activité de culture au sein de l'exploitation, un seul emploi suffit pour répondre aux activités de la ferme, comme dans la plupart des systèmes en grande culture.

Cependant, en se plaçant à une échelle plus large, les systèmes innovants de Tart-le-Bas existeraient difficilement, sans l'atelier animal de l'exploitation, notamment pour le Sdc50 avec un certain nombre de ces cultures destinées aux animaux. A l'échelle de l'exploitation, ces systèmes créent davantage d'emplois qu'en grande cultures, en effet le Sdc50 a été imaginé pour satisfaire les besoins de l'atelier d'élevage.

L'indicateur TOX (nombre de passages/an/parcelle avec au moins un produit classé nocif pour l'homme) d'estimation du risque pour la santé de l'applicateur par rapport à l'utilisation des pesticides met en évidence un point négatif du Sdc50 qui à première vue pourrait sembler étonnant. En effet, ce risque est estimé plus important pour ce système, alors que la quantité de pesticides appliquée à ce système est plus faible, les molécules utilisées sont donc plus toxiques que celles du Sdc30. L'indicateur TOX le plus important du Sdc50 concerne la culture de pois avec un résultat de 3,5, le blé est à 1,5, l'orge et le maïs sont à 1, puis la luzerne et le tournesol ont un risque estimé à 0. Concernant le Sdc30, c'est la moutarde, gourmande en insecticides neurotoxiques qui ressort avec un TOX à 2, maïs, orge et blé sont à 1,5 et le soja à 0. La moutarde et le pois ont les plus forts TOX car ce sont des cultures gourmandes en insecticides et fongicides, des produits souvent classés nocifs pour l'homme.

IV.1.1.3 Evaluation environnementale



Les notes INDIGO (Cf.III.6.3.3) de Maîtrise du statut organique du sol (MSO) sont plutôt faibles pour les deux systèmes (figure 13), et n'atteignent pas la note de satisfaction minimale (7). Seules les cultures de luzerne et blé de luzerne ont une note supérieure à 7, voir proche de 10 pour la deuxième et troisième année de luzerne. Cela signifie que pour toutes les autres cultures, l'apport moyen en humus est inférieur à l'apport recommandé de matière organique pour maintenir une fertilité ou un bilan humique satisfaisant à long terme.

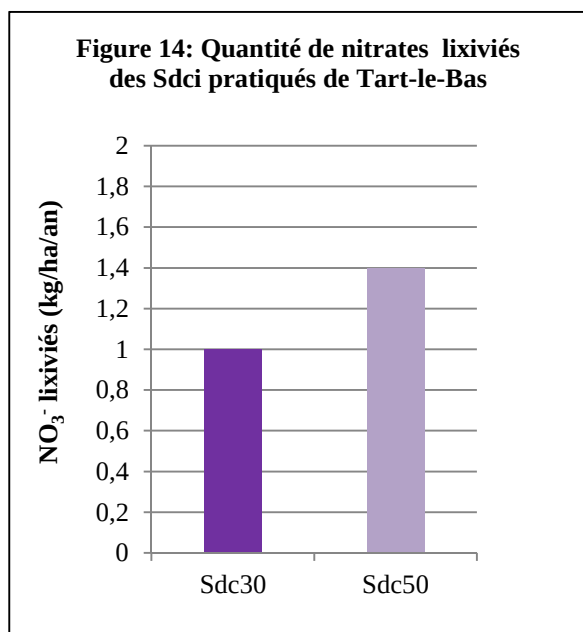
Ces notes MSO sont liées à plusieurs facteurs. L'apport de matière organique recommandé pour maintenir la bonne qualité du sol est calculé suivant les caractéristiques de sols : pourcentages d'argile, de cailloux et de calcaire. Le sol de Tart-le-Bas se situe dans les moyennes basses d'apport recommandé. L'apport moyen de matière organique apporté par les interventions culturales est déterminé en fonction des types de culture, des

rendements, de la gestion des résidus (sur l'ensemble de la succession) et de la fertilisation organique, puis est pondéré par la présence de labour durant les 4 dernières conduites.

De manière générale, ces mauvaises notes s'expliquent par une exportation systématique des résidus de culture du blé et de l'orge, un labour relativement profond (25cm) mis en œuvre au moins une fois tous les quatre ans. En effet, suite à différentes études (Balesdent et al, 1990 ; Stockfish et al, 1999), il a été décidé pour le calcul de la note que la réintroduction d'au moins un labour sur quatre années annulait l'effet « positif » du non labour sur le bilan humique.

La bonne note du blé de luzerne n'est donc pas due au fait qu'il n'y ait pas de labour pendant les trois années le précédant, mais provient d'un taux d'apport moyen en matière organique d'une prairie temporaire très élevé par rapport aux autres cultures et à ses forts rendements.

Les notes de MPEP et MPES mettent en évidence les risques de pollution des eaux face aux pesticides. Les notes sont très bonnes pour les deux systèmes avec une très légère supériorité du Sdc50. Ces bons résultats s'expliquent en partie, par les efforts de diminution de l'utilisation de pesticides mais également, par des paramètres de sol très avantageux pour les deux systèmes qui limitent fortement la perte de substances actives : pente nulle, sol basique, épais et très peu battant, matière organique et argile en quantité importante. Cependant, le caractère parfois hydromorphe du sol peut favoriser le ruissellement des pollutions vers les eaux superficielles même avec une faible pente, il faut donc rester vigilant.



Les résultats concernant le risque de lixiviation des nitrates est également excellent (figure 14). Il a pour origine : une très bonne maîtrise de la fertilisation, avec un bilan azoté annuel négatif; une profondeur de sol relativement importante environ égale à 1 mètre en moyenne sur l'exploitation ; une perte de sol quasi nulle par l'absence de pente et une bonne teneur en argile et en matière organique.

Les IFT des deux systèmes sont tous très nettement en dessous des IFT régionaux (figure 15).

Les IFT totaux du Sdc30 et du Sdc50 sont respectivement deux fois et quatre fois moins important que la référence régionale. Concernant l'utilisation des herbicides, extrêmement présents dans les eaux souterraines et superficielles de Bourgogne (cf. II.2.1 *Qualité de l'eau*), par rapport à la référence régionale l'IFT Herbicide est plus faible de 25% pour le Sdc30, et deux fois moins important pour le Sdc50.

Ces résultats mettent en évidence les efforts importants réalisés ces dernières années pour diminuer l'usage des produits phytosanitaires au sein de l'exploitation de Tart-le-Bas.

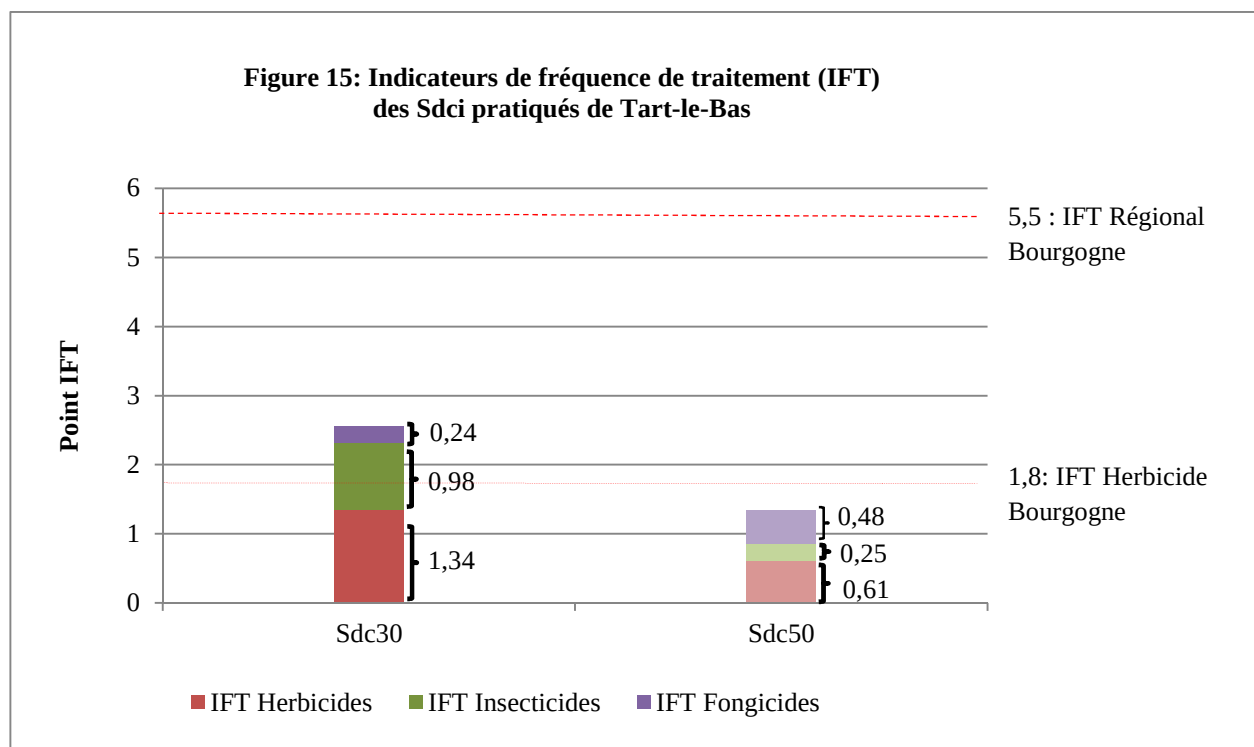
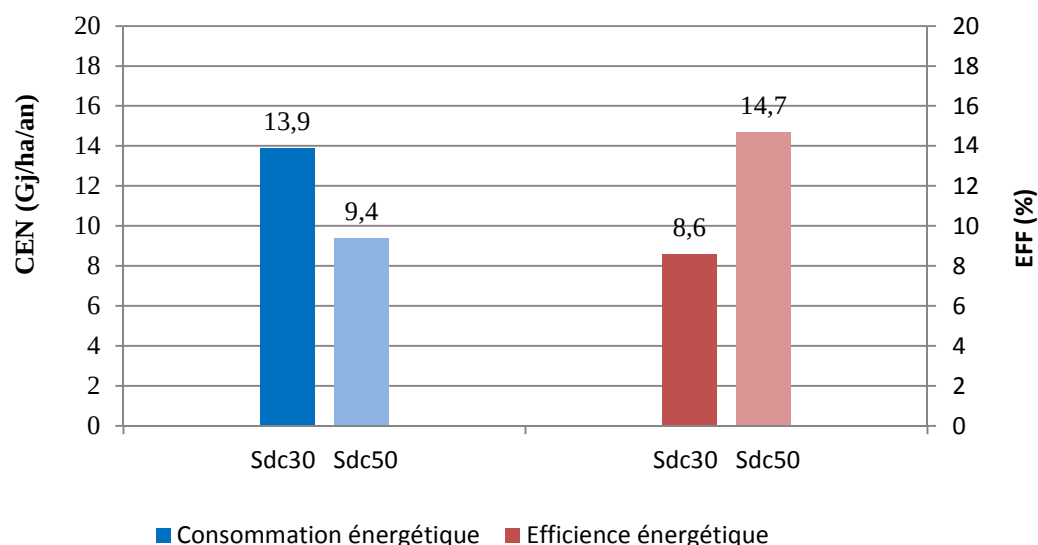


Figure 16: Pression énergétique des Sdcj pratiqués de Tart-le-Bas



La pression énergétique du Sdc50 apparaît moins forte que celle du Sdc30, en effet sa consommation énergétique est 30% plus faible et son efficacité énergétique (rapport énergie produite par le système sur énergie consommée) presque deux fois plus importante que le Sdc30 (figure 16).

L'énergie produite par le système de culture comptabilise l'énergie cumulée dans les produits récoltés ayant une valeur d'usage alimentaire et de fourniture en matière première pour l'industrie. En d'autres termes, cela équivaut à calculer le pouvoir calorifique de ces produits équivalent à la chaleur récupérable par leur combustion.

La consommation d'énergie rassemble l'énergie consommée par les interventions aux champs, l'irrigation et la fabrication des intrants (pesticides et engrais).

La culture la plus efficace d'un point de vue énergétique est la luzerne avec sa totale indépendance face aux engrais azotés de synthèse et l'exportation de sa plante entière. Le blé de luzerne est également très efficace, avec un usage d'herbicides ramené à zéro, en bénéficiant des effets très compétitifs de la luzerne face aux adventices.

Les autres blés et l'orge ont une efficacité comparable, alors que le tournesol et le pois sont en dessous, et le maïs est le moins rentable énergétiquement (séchage après récolte).

A première vue cela semble surprenant d'avoir un tournesol avec une moins bonne efficacité énergétique étant donné qu'il demande aucun engrais de synthèse (compost bovin) et a un pouvoir calorifique supérieur aux autres cultures (certainement dû à la production d'huile). Cependant, son rendement est très faible avec 2,8 t/ha par rapport aux autres cultures, il est donc très intéressant de limiter au maximum sa consommation en intrants, et en travail du sol si possible.

La relative faiblesse de l'EEN du pois est également due à un plus faible rendement que les céréales à pailles car il ne demande aucun apport d'engrais azotés (la fabrication de l'ammonitrate 33,5 demande 4 fois plus d'énergie que les autres engrais utilisés sur l'exploitation), et présente un travail du sol et un IFT peu excessif.

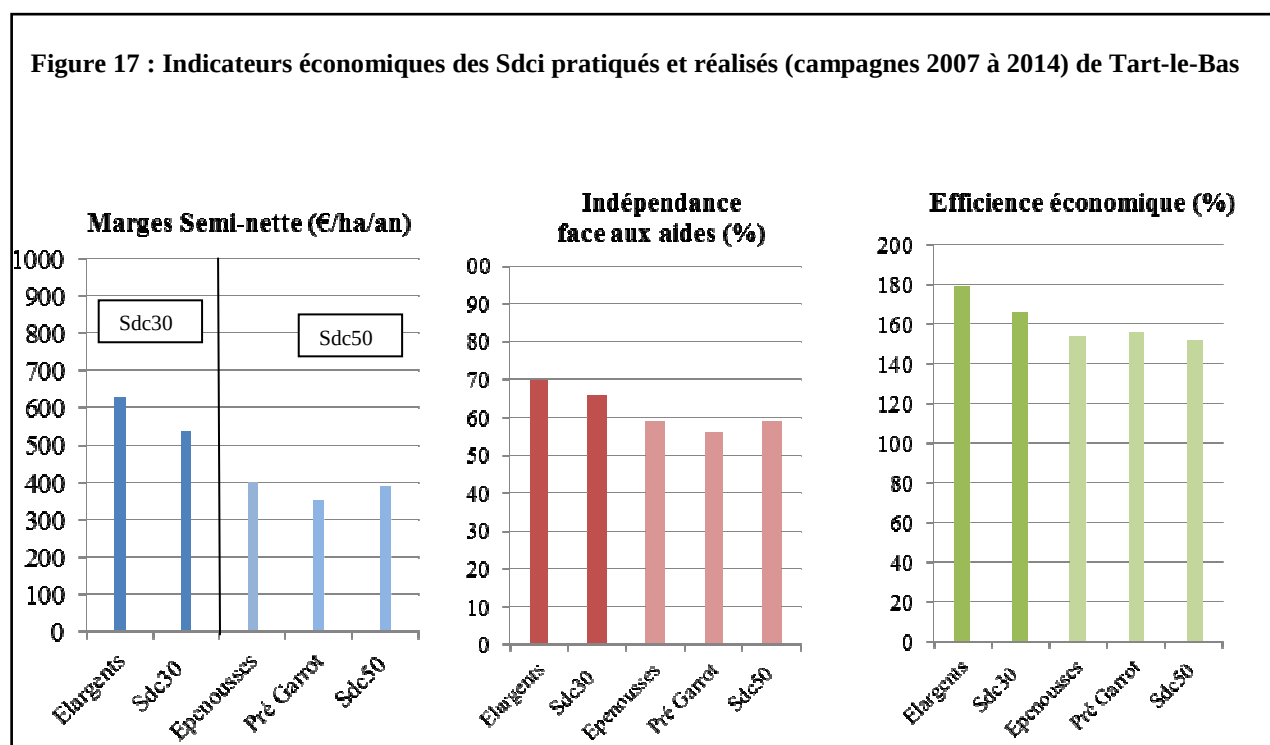
IV.1.2 Evaluation comparée des Sdc réalisés (campagnes 2007 à 2014) et pratiqués de Tart-le-Bas

Rappel : Le système de culture réalisé reprend les interventions exactement réalisées sur une parcelle donnée, sur n année.

L'exploitation de Tart-le-Bas est un cas de systèmes de culture très particulier, avec une diversité culturelle importante, une forte rupture dans l'usage de pesticides. Toutes ces raisons font des systèmes de Tart-le-Bas, des systèmes parfois compliqués à gérer avec des variations d'interventions d'une année sur l'autre pour une même culture, il peut donc être difficile d'établir un système pratiqué, qui soit totalement représentatif de la réalité. Comparer ces résultats va permettre de savoir si la réalité des faits sur une parcelle donnée est bien celle que l'agriculteur a essayé de synthétiser à partir de l'ensemble des parcelles. De plus, le système réalisé intègre les aléas climatiques alors que le pratiqué les ignore, sachant que les deux parcelles sélectionnées du Sdc50 ont subies des conséquences climatiques important (gel, inondation).

Toutes les parcelles n'ont pas été évaluées, celles sélectionnées présentent une rotation identique ou très proche à celle construite dans le système pratiqué et sur un nombre d'années conséquent.

IV.1.2.1 Evaluation économique



Les calculs de la figure 17 sont réalisés en contexte de prix moyens pour la vente des cultures et l'achat des engrais de synthèse (annexe 1).

Les marges semi-nettes pour un même système de culture peuvent être très différentes entre le système réalisé et le pratiqué. En effet, le Sdc30 montre une MSN supérieure d'une centaine d'euros dans le réalisé, expliquée par des charges de mécanisation moins importantes dans la réalité que dans le pratiqué. La MSN du Sdc50 a une amplitude de variation plus faible entre les systèmes réalisés et pratiqués, comprise entre 10 et 40 euros.

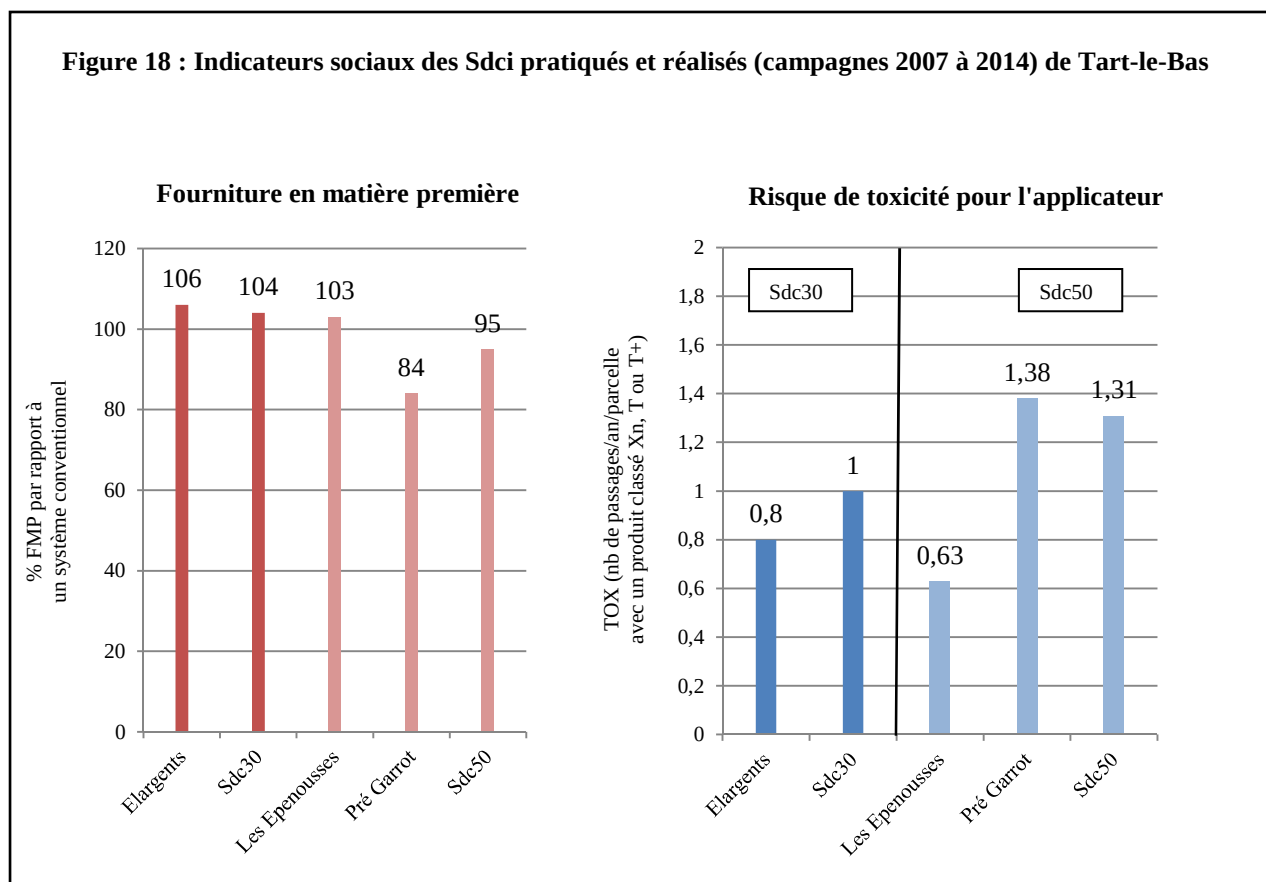
L'indépendance face aux aides reste proche entre les systèmes réalisés et pratiqués, avec des variations de quelques pourcents. Cet indicateur varie avec la valeur de la marge semi-nette, plus cette dernière sera faible, plus le taux d'indépendance le sera également.

Au niveau de l'efficacité économique, le Sdc50 varie au maximum de 5% entre le réalisé et le pratiqué, alors que le Sdc30 montre une amplitude de 19% en faveur du réalisé. Cette différence provient essentiellement de charges de mécanisation plus faible ajouté à un rendement légèrement meilleur (figure 18).

La tendance d'une supériorité économique du Sdc30 par rapport au Sdc50 observé dans la comparaison des systèmes pratiqués est confirmée ici.

IV.1.2.2 Evaluation sociale

Figure 18 : Indicateurs sociaux des Sdc pratiqués et réalisés (campagnes 2007 à 2014) de Tart-le-Bas



Il n'était pas intéressant de parler de la contribution à l'emploi, car cet indicateur n'a pas de raisons de varier entre les systèmes réalisés et pratiqués.

Le taux de fourniture en matière première est à 2% près, identique entre le réalisé et le pratiqué du Sdc30 (figure 18). Les résultats du Sdc50 reflètent l'hétérogénéité des caractéristiques de sol du site de Tart-le-Bas. En effet, la parcelle « Pré Garrot » présente des rendements à 84% de la référence régionale, mettant en évidence son sol moins épais et sa réserve utile plus faible que la parcelle « Epenousses ». Cette dernière parcelle présente des rendements de luzerne très forts qui peuvent ainsi compenser certaines années moins fructueuses, en matière de rendement.

Le système réalisé Sdc30 (Elargents) présente un risque de toxicité moins important pour l'applicateur que le système pratiqué.

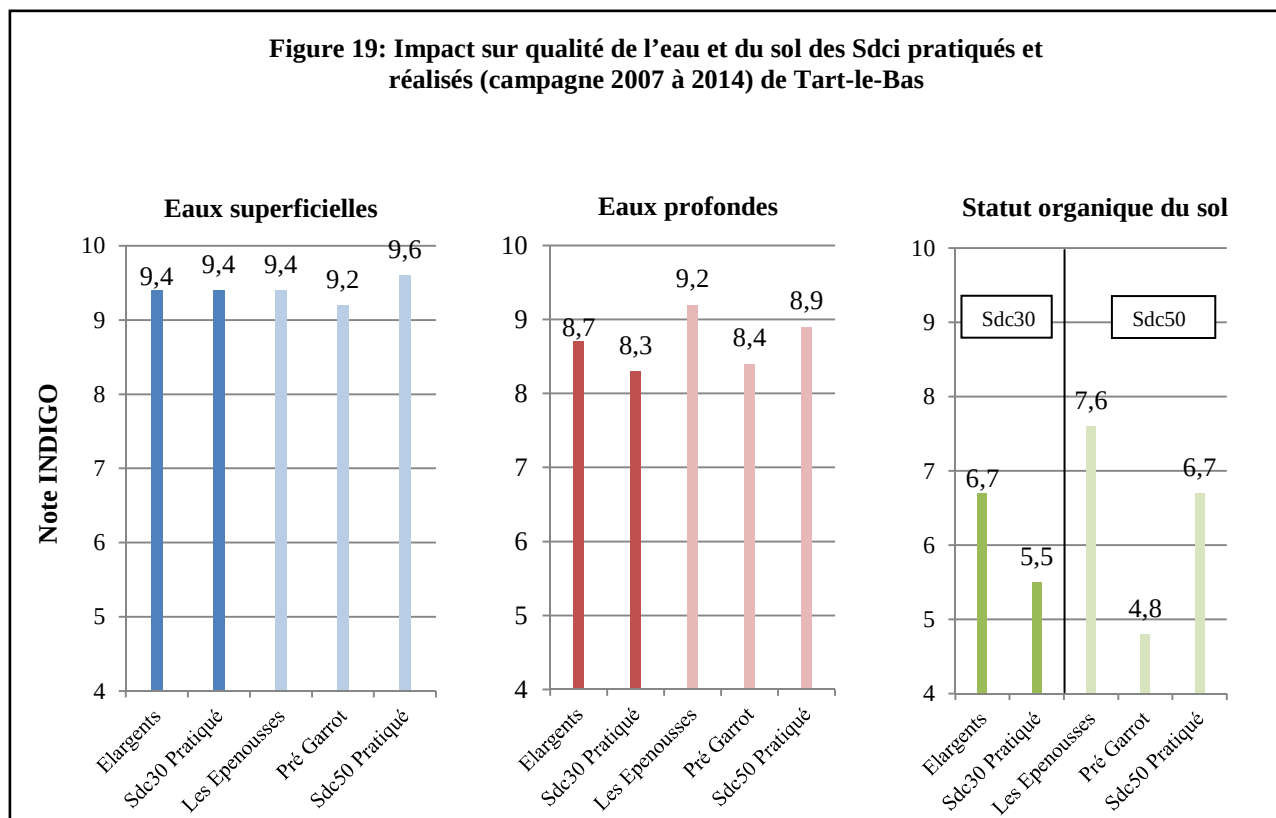
La parcelle « Epenousses » du Sdc50 a un TOX moitié moins important que son système pratiqué. Ce résultat met clairement en évidence l'effet bénéfique de la luzerne (indépendant de tous pesticides) par rapport à cet indicateur, sachant que cette culture représente 3 années de récolte sur les 8 évaluées d'« Epenousses ». La parcelle « Pré Garrot » représentative de la rotation non interrompue par la luzerne présente un TOX très proche du pratiqué.

Concernant le risque pour la santé de l'applicateur, pour 2/3 systèmes réalisés, il est moins important que le pratiqué, jusqu'à deux fois plus faible pour Epenousses.

La tendance d'un meilleur rendement pour le Sdc30 est confirmée, et le risque pour la santé de l'applicateur est plus mitigé selon où en est la rotation du Sdc50.

IV.1.2.3 Evaluation environnementale

Figure 19: Impact sur qualité de l'eau et du sol des Sdci pratiqués et réalisés (campagne 2007 à 2014) de Tart-le-Bas

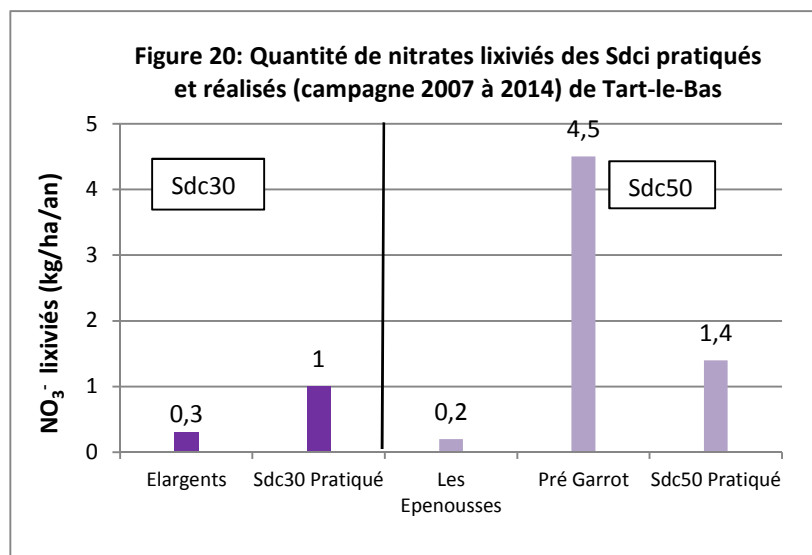


Les notes de maîtrise de la pollution des eaux superficielles, très liées aux caractéristiques du milieu sont toutes très proches et supérieures à 9 (figure 19), donc largement au-dessus de la limite minimale de satisfaction, égale à 7.

La maîtrise de la pollution des eaux profondes est davantage liée aux potentiel de lessivage des molécules des pesticides utilisées et donc varie plus facilement que MPES (plus liée au milieu) sur les différents systèmes. Les systèmes en Sdc30 sont légèrement inférieurs, sachant qu'ils ont un IFT plus important que le Sdc50. La note MPEP de « Pré Garrot » est plus faible que la moyenne du Sdc50, en effet cette parcelle n'a pas encore bénéficié de l'effet positif de la luzerne sur la note globale et les pesticides qui ont été utilisés ont un potentiel de lessivage important.

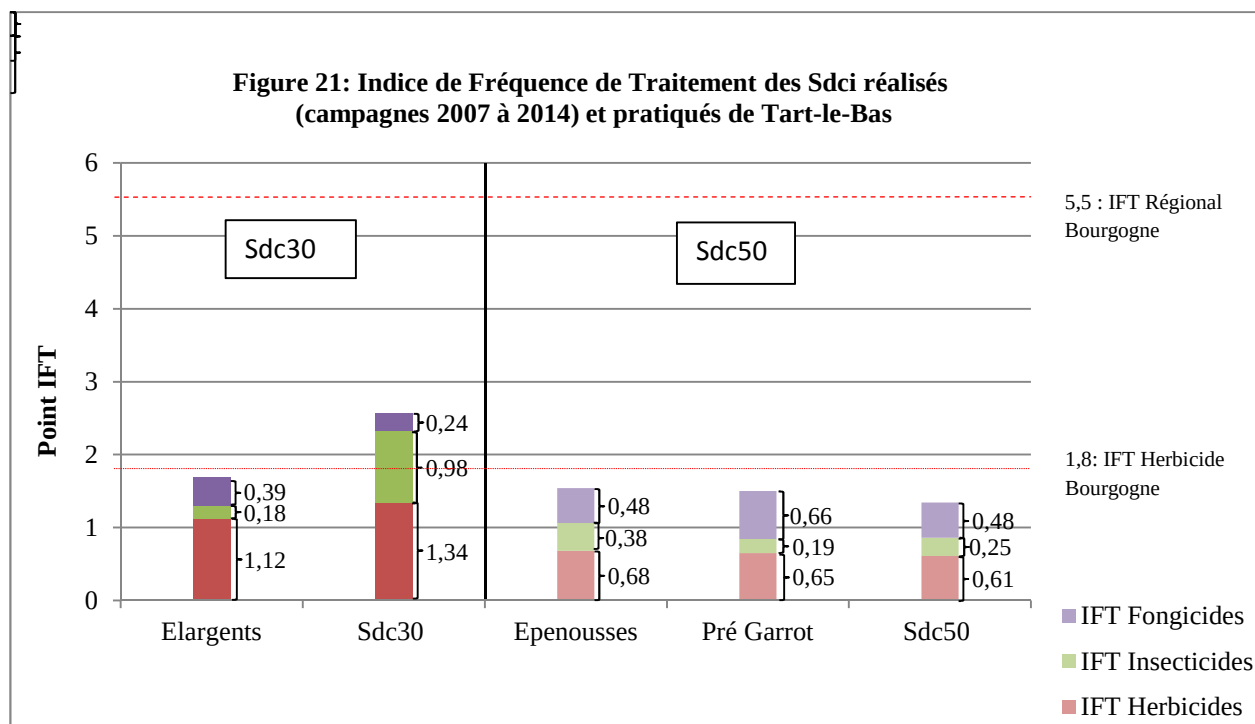
Les notes de la maîtrise du statut organique du sol sont pour la plupart mauvaises, en étant en dessous de la limite du risque maximum accepté. Seule la parcelle « Epenousses » présente une note correcte, l'effet positif de la culture de la luzerne est de nouveau mis en valeur. La très mauvaise note de « Pré Garrot » est liée à ses rendements faibles par rapport à la moyenne. La note supérieure d'« Elargents » sur son pratiqué s'explique en partie par des rendements légèrement plus forts. Les raisons globales de cette mauvaise note MSO pour les Sdci de Tart-le-Bas ont été détaillées dans l'IV.1.1.3.

Figure 20: Quantité de nitrates lixiviés des Sdci pratiqués et réalisés (campagne 2007 à 2014) de Tart-le-Bas



Le taux de lixiviation des nitrates est extrêmement faible pour tous ces systèmes, cependant la parcelle « Pré Garrot », se fait remarquer avec une valeur 3 fois supérieure à son pratiqué et 20 fois supérieure à « Epenousses », tout en restant à un taux relativement très faible. Ce résultat trouve son origine dans la profondeur du sol de « Pré Garrot », plus faible que les autres parcelles, sa capacité d'infiltration des fertilisants est ainsi réduite et est donc davantage sujet à la lixiviation des nitrates (figure 20).

Les tendances observées dans l'évaluation des pratiques sont confirmées dans l'évaluation des systèmes réalisés des parcelles sélectionnées.



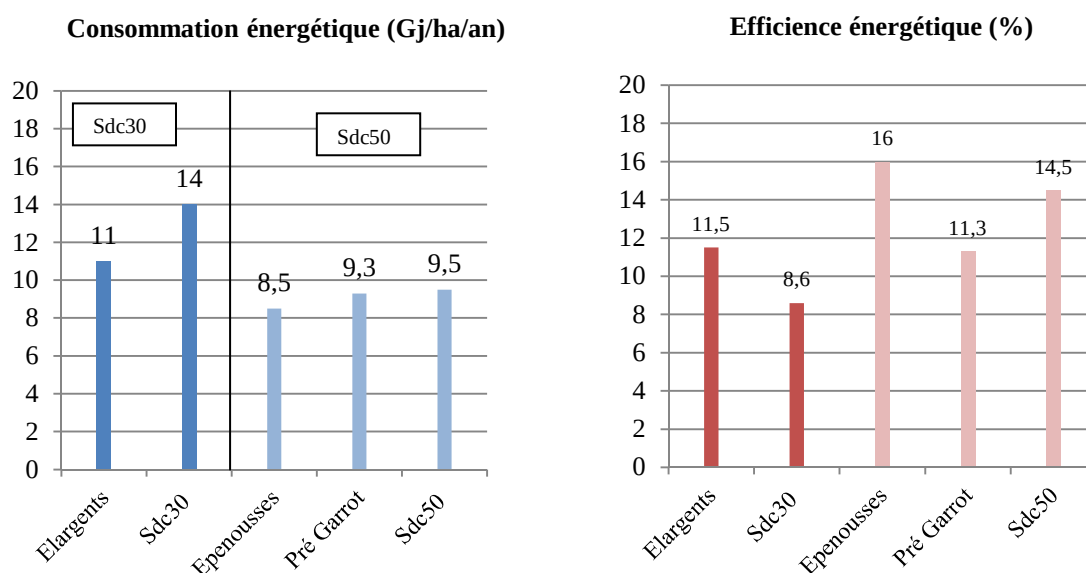
Les notes IFT restent très basses pour tous les systèmes (figure 21).

L'IFT total est nettement moins important pour « Elargents » que son pratiqué Sdc30, cet écart est essentiellement dû à l'IFT Insecticides.

Les IFT des Sdc50 sont relativement stables avec une légère supériorité pour les deux réalisés.

Un contraste moins marqué entre les Sdc30 et Sdc50 réalisés qu'entre les systèmes pratiqués.

Figure 22 : Pression énergétique des Sdci pratiqués et réalisés (campagnes 2007 à 2014) de Tart-le-Bas



La parcelle « Elargents » consomme 20% de moins d'énergie, avec une efficience énergétique 30 % plus importante que son pratiqué (figure 22). Ces résultats ont pour origine un IFT (figure 21) et une consommation d'engrais azoté plus faible (*ammonitrate* 33,5 très énergivore), avec des rendements très proches du pratiqué.

Les résultats du Sdc50 mettent en évidence l'effet positif de la luzerne, implantée sur « Epenousses », au niveau du bilan énergétique du système. Une culture qui ne demande aucun pesticide et engrais azoté sur les trois années de son implantation. Un bénéfice certainement atténué par les deux épisodes de destruction des cultures survenue en 2012 (destruction par le gel) et 2014 (destruction par les corbeaux) sur la parcelle « Epenousses ». Les plus mauvais résultats de la parcelle « Pré Garrot » sont uniquement dû à ses rendements plus faibles que la moyenne, en raison de ses caractéristiques de sols, étant donné que sa consommation énergétique est très proches des deux autres systèmes en Sdc50.

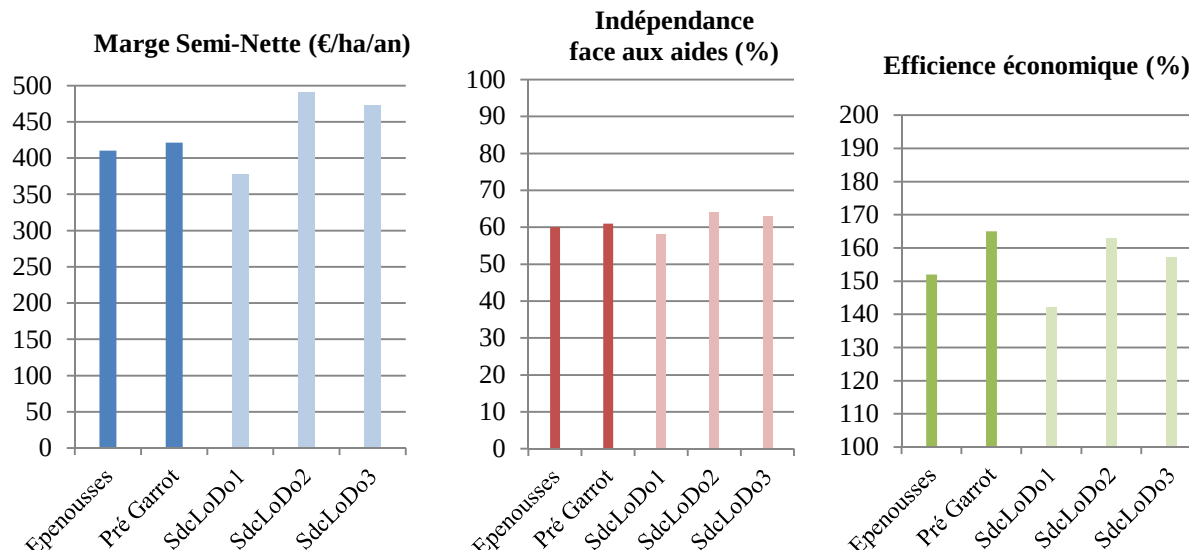
Dans la réalité les contrastes entre le Sdc30 et le Sdc50 semble être un peu moins marqués que dans le pratiqué. Cependant, les résultats sont extrêmement tributaire des parcelles choisis pour l'évaluation, comme le montre les parcelles « Pré Garrot » et « Epenousses ».

IV.1.3 Evaluation comparée des Sdci réalisés de Tart-le-Bas et du SdcLoDo (campagnes 2007 à 2011)

Le système de référence ou SdcLoDo (système local dominant) est appliqué sur trois parcelles, discriminées ici par les chiffres 1-2-3. L'évaluation comparée a été uniquement réalisée avec le Sdc50, étant donné que les données du système local dominant n'étaient pas plus récentes que 2011, il n'y avait donc que deux ans en commun avec le Sdc30 débuté en 2010.

IV.1.3.1 Evaluation économique

Figure 23 : Indicateurs économiques des Sdci et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011)

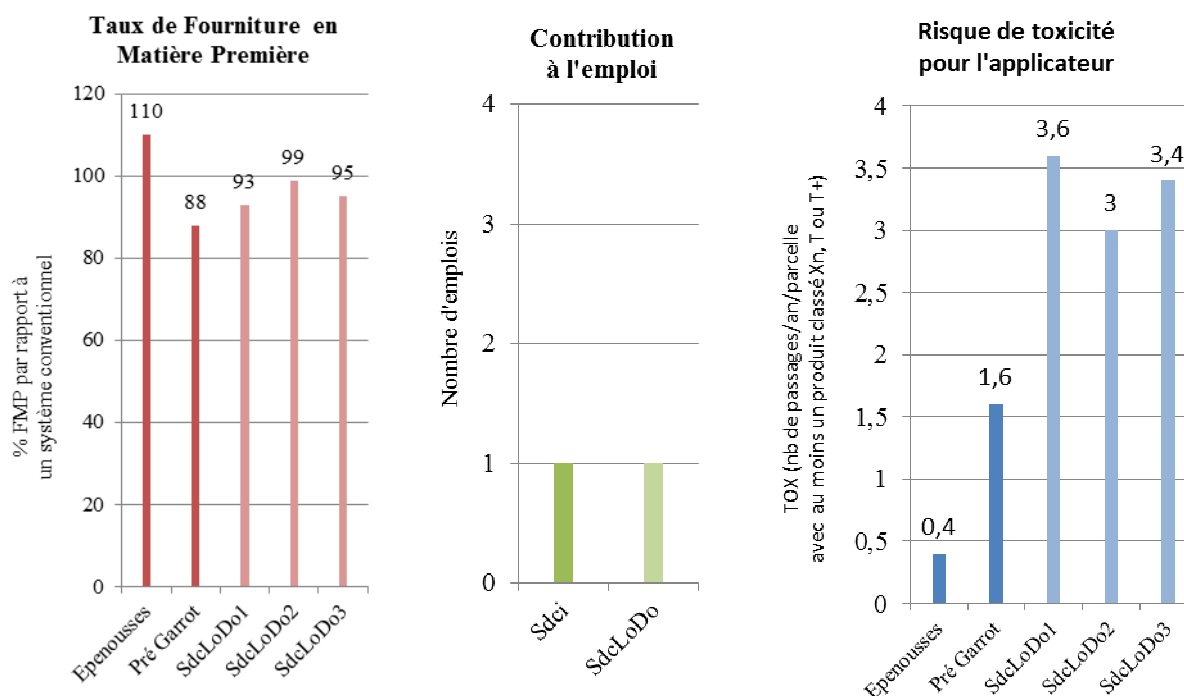


La marge semi-nette est plus élevée pour les parcelles en système de référence. En moyenne les SdcLoDo rapportent une trentaine d'euros de plus par hectare par an, ramené à une exploitation de 110ha comme celle de Tart-le-Bas, cela équivaut à une somme de 3300 euros sur une année (figure 23).

L'efficiency économique (retour sur investissement), est très proche pour les deux types de systèmes, même si en valeur absolue, les parcelles du SdcLoDo rapportent un peu plus, le produit brut équivaut à environ 150% des ressources financières investies dans le fonctionnement du système, qu'il soit innovant ou conventionnel.

Le taux d'indépendance face aux aides est égal à environ 60% pour les deux types de systèmes.

Figure 24 : Indicateurs sociaux des SdcI de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagnes de 2007 à 2011)



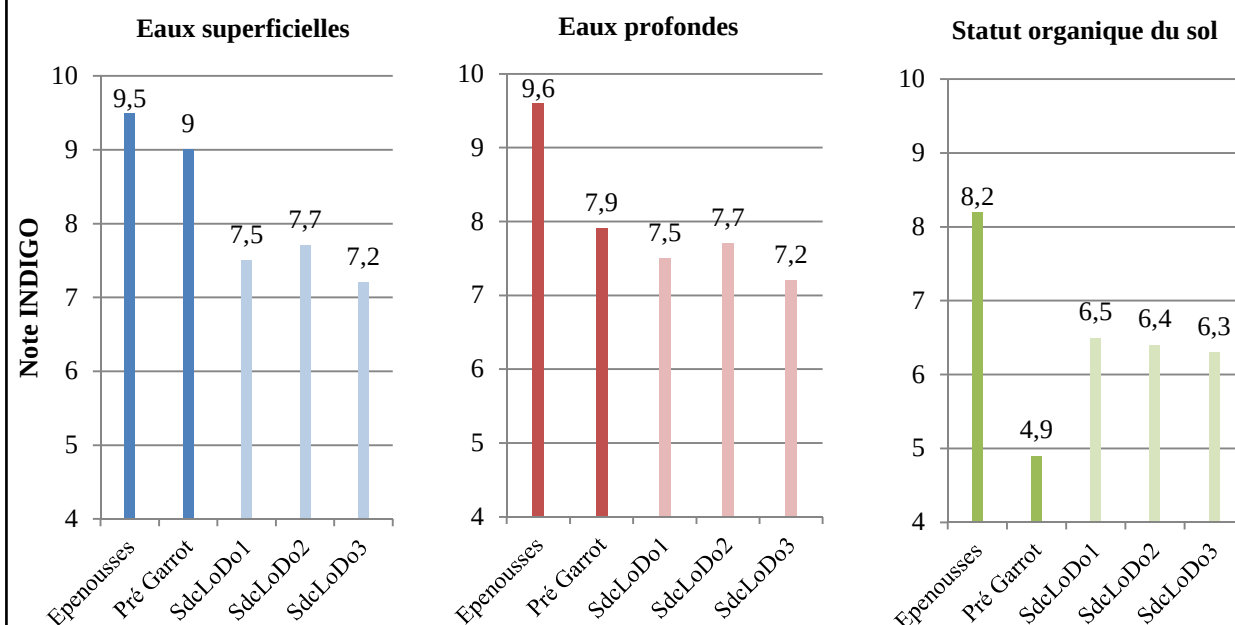
Les indicateurs FMP des parcelles du système local dominant sont inférieurs à 100%, cela peut être surprenant car le système de référence est censé atteindre les rendements de référence. Cependant, ces rendements de référence bourguignons sont indexés à des types de sols dont aucun ne correspond exactement à celui du système dominant ou des systèmes innovants, ceci peut donc entraîner des biais dans les résultats (figure 24).

Comme précisé dans l'IV.1.1.2 Evaluation sociale, pour des systèmes de type « Grandes cultures », la contribution à l'emploi est toujours très faible et dépasse rarement un emploi sur une exploitation. De plus, cette évaluation ne prend pas en compte l'atelier animal indexé au système de cultures innovant, responsable de deux emplois supplémentaires et totalement intégré dans le fonctionnement du système, en valorisant certaines cultures (luzerne, pois) essentielles au Sdc50, et en apportant des engrais organiques.

Le risque de santé pour l'opérateur (TOX) est en moyenne trois fois plus important pour le système de référence de la plaine dijonnaise que les systèmes innovants de Tart-le-Bas. Cet indicateur n'est pas forcément en lien avec la quantité de pesticides utilisée mais bien avec la toxicité des produits pour l'être humain.

IV.1.3.3 Evaluation environnementale

Figure 25: Impact sur la qualité de l'eau et du sol des Sdci et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011)



Les notes de maîtrise du risque de pollution des eaux par les systèmes de référence sont plus faibles que les Sdci, et même parfois très proche de la limite de risque minimum acceptable (7). Ces résultats s'expliquent par une utilisation des pesticides nettement plus importante (figure 25) avec des molécules à fort potentiel de lixiviation.

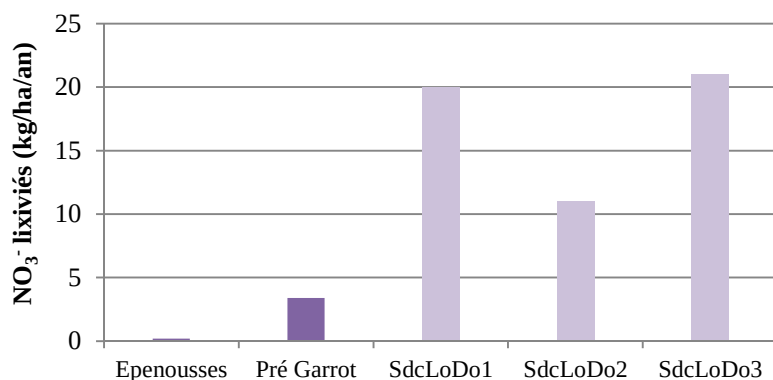
La maîtrise du statut organique du sol est très proche pour toutes les parcelles du système de référence et correspond à une note habituellement rencontrée pour des systèmes conventionnels, en d'autre terme la note atteint rarement le limite de satisfaction pour ce genre de système de culture. En effet, un labour systématique et une absence d'apport organique exceptés les résidus de récolte explique largement cette note. Le maintien à long terme de la teneur initiale du sol en matière organique est compromis, et peut ainsi nuire à l'obtention de rendements satisfaisants dans l'avenir, mais également entraîner une érosion des sols.

Cependant, la parcelle « Pré Garrot » des systèmes innovants a une note encore plus mauvaise (cf. IV.1.2.3), liée à ses rendements faibles.

Par contre, la note MSO est bonne pour « Epenousses », la mise en place d'une prairie temporaire apporte beaucoup d'humus au sol, accentué par des forts rendements et l'absence d'export des résidus de récolte.

L'absence d'un labour systématique pour les systèmes innovants inférieure à quatre années consécutives n'aura aucun effet positif sur le statut organique du sol, ajouté à l'export des résidus de récolte des céréales à paille, les notes ne sont pas supérieures à un système plus conventionnel.

Figure 26: Quantité de nitrates lixiviés des Sdci de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagne 2007 à 2011)



La quantité de nitrates lixiviés est très faible pour les Sdci (cf. IV.1.2.3), en partie liée à une bonne maîtrise de la fertilisation et favorisée par un sol profond. Les parcelles du système de référence entraînent en moyenne dix fois plus de nitrates lixiviés, en effet les bilans azotés annuels des parcelles sont en excès de près de 50 kg d'azote/ha/an, la maîtrise de la fertilisation pourrait donc être améliorée. De plus, le sol des SdcLoDo est moins épais favorisant ainsi la perte des nitrates (figure 26).

Les IFT des systèmes de référence sont de 2 à 7,5 fois supérieures à ceux des systèmes innovants (figure 27). Sachant que la parcelle « Epenousses » bénéficie de trois années de luzerne qui ne demande aucun pesticide (ou exceptionnellement). Ces résultats mettent en évidence les importants efforts de réduction de l'usage des pesticides pour les systèmes innovants de Tart-le-Bas par le développement d'une production intégrée des cultures, en cumulant plusieurs techniques de régulations naturelles (faux semis, désherbage mécanique, variétés adaptées...).

Figure 27: Indice de Fréquence de Traitement des Sdci de Tart-le-Bas et des SdcLodo réalisés (campagnes 2007 à 2011)

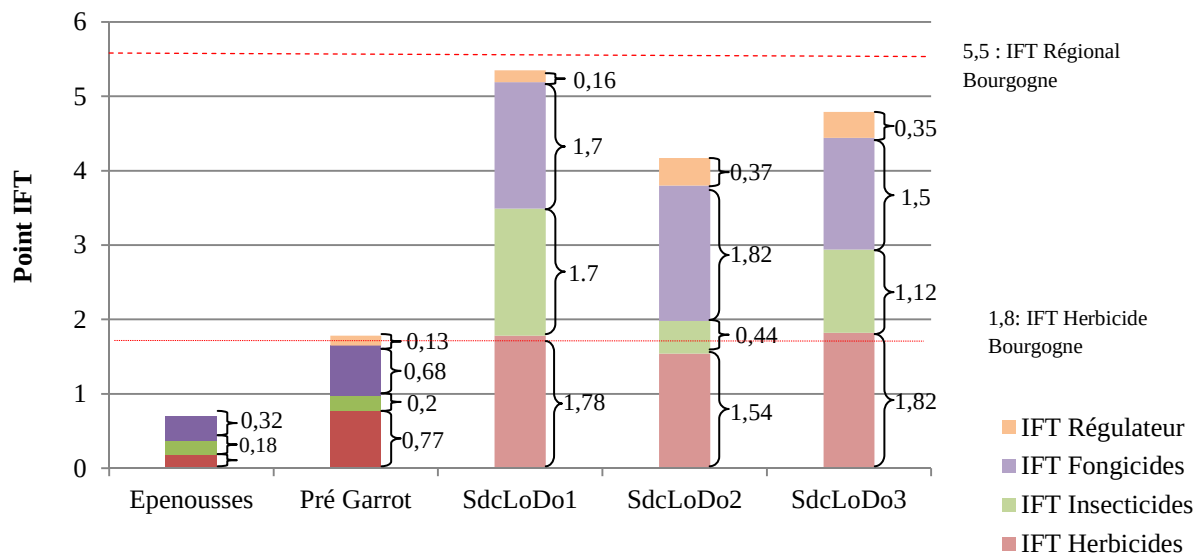
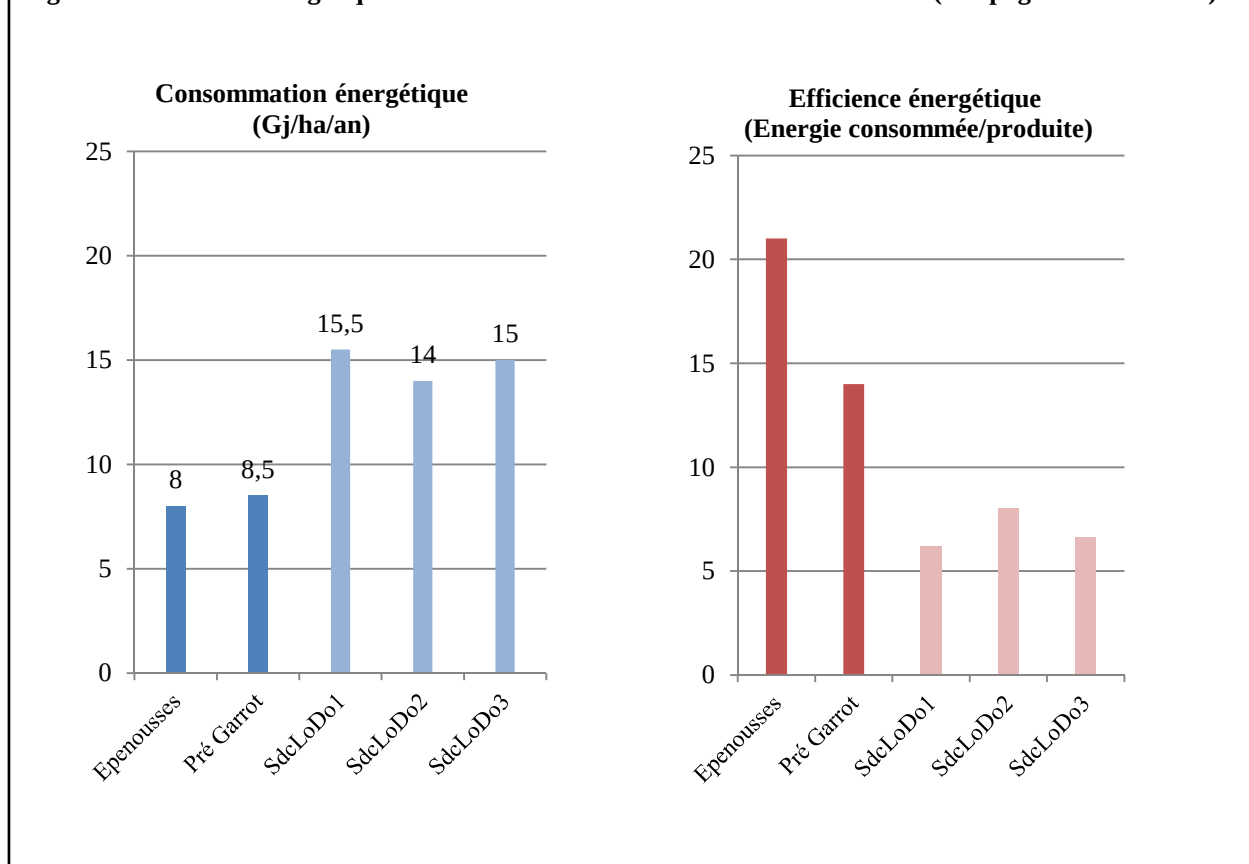


Figure 28 : Pression énergétique des Sdci de Tart-le-Bas et du SdcLoDo réalisés (campagnes 2007 à 2011)



La consommation en énergie est environ deux fois plus importante pour les systèmes de référence (figure 28). Sachant que ces derniers ne sont pas irrigués et ont très peu de travail de sol par rapport aux systèmes innovants, cette différence est entièrement due à leur forte consommation d'énergie indirecte par les engrais minéraux. Le fort pouvoir calorifique du colza implanté dans les systèmes référents ne compense pas l'énergie demandée par les intrants.

Les systèmes innovants ont en moyenne une efficacité énergétique deux fois plus importante. Ils dépensent moitié moins d'énergie en gardant des rendements forts, comparable aux références régionales.

IV.2 Evaluation multicritère ou globale

La méthode MASC appliquée ici, fait une agrégation de critères afin d'obtenir une note de contribution au développement durable des systèmes de culture. L'agrégation est réalisée en plusieurs étapes en donnant ainsi des notes aux différents compartiments du développement durable et se présente sous la forme d'une arborescence constituée par des critères d'entrée (ou basiques) et des critères agrégés.

L'évaluation multicritère n'a pu être réalisée sur le système de référence, un entretien avec l'expérimentateur aurait été nécessaire.

IV.2.1 Description des arbres Masc

L'appréciation de la durabilité des systèmes de culture obtenue suite à l'application de la méthode Masc révèle une indication importante sur les performances du système. Cependant, l'agrégation entraîne une perte d'information, il est donc intéressant d'analyser le système à différentes étapes de cette agrégation, afin d'identifier ses points forts et ses points faibles.

La marge semi-nette utilisée pour renseigner le critère « Rentabilité » de l'arbre Masc comprend les aides financières (Droit au Paiement Unique).

- Sdc30

En contexte de prix bas (figure 29) la *Contribution au développement durable* du Sdc30 atteint la note maximale de 7/7, qualifiée de très élevée.

Au niveau des trois piliers de la durabilité, les dimensions sociale et économique semblent être plus faibles avec une note de 4/5, au lieu de 5/5 pour la dimension environnementale, qui est le point fort du système. Concernant l'économie, sa note est en lien avec une *Rentabilité* qualifiée de faible à moyenne en contexte de prix bas.

La note plus basse du pilier social est essentiellement due à la *Contribution à l'emploi* jugée très faible. Comme explicité dans la caractérisation des systèmes de culture, les systèmes en grandes cultures entraînent rarement plus d'un salarié par exploitation.

En regardant à une étape d'agrégation moins avancée, le pilier environnemental obtiens certains points faibles au niveau notamment de la *Conservation de la macrofaune* faible à moyenne, en lien avec un effet de labour moyen à élevé, un *IFT Insecticides* moyen et une *Maîtrise du statut organique* du sol faible à moyenne. La *Pression énergie* qualifiée de faible à moyenne notamment, avec une consommation énergétique accentuée par la culture de maïs (séchage après récolte) et la présence de cultures peu calorifiques (moutarde, soja).

Le point faible *Maîtrise du statut organique*, déjà mis en évidence dans la caractérisation des systèmes apparaît ici, ne permet pas une note maximale à la *Préservation de la qualité du sol*.

L'arbre Masc du Sdc30 en contexte de prix hauts (figure 30) montre une note maximale pour la dimension économique de ce système, avec une *Rentabilité* élevée, entraînant de meilleures *Indépendance* et *Efficiences économiques*.

- Sdc50

En contexte de prix bas la *Contribution au développement durable* du Sdc50 atteint la note de 5/7 (figure 31) qualifiée de moyenne à élevée. Parmi les 3 dimensions de la durabilité, le pilier environnemental est le plus fort en atteignant la note maximale, puis vient le pilier social jugé élevé avec une note de 4/5, et le pilier économique, faible avec une note de 2/7.

Les points les plus déficients du pilier social sont la *Contribution à l'emploi* très faible, et le *Risque pour la santé de l'opérateur* qualifié de moyen à élevé, deux points déjà mis en avant dans la caractérisation des systèmes.

Le point fragile du pilier économique est la très faible *Rentabilité* avec la note la plus basse de 1/7.

Au niveau du pilier environnemental, les points délicats se situent au niveau de la *Conservation de la macrofaune du sol* jugée faible à moyenne, liée à l'effet négatif du labour et à la faible *Maîtrise du statut organique du sol*.

En contexte de prix hauts (figure 32), le Sdc50 obtient une note de *Contribution au Développement Durable* jugée élevée et égale à 6/7, avec une dimension économique moyenne en obtenant une note de 3/5

IV.2.1.2 Synthèse de l'évaluation multicritère

Suite à l'application de la méthode Masc sur les systèmes de culture de Tart-le-Bas, ceux-ci obtiennent des niveaux de contribution au développement durable de moyen à très élevé. Le point fort de ces deux systèmes est la dimension environnementale, jugée pour très élevée, même si des points faibles ont pu être identifiés au niveau de la maîtrise du statut organique du sol et de la conservation de la macrofaune du sol. Ces difficultés proviennent essentiellement d'un effet de labour trop marqué, associé à une exportation des résidus systématique de culture de céréales à pailles et d'une utilisation d'insecticides moyenne pour le Sdc30. Ce dernier système a une pression énergétique plus marquée en raison des besoins de séchage de la culture de maïs.

Leur dimension sociale est jugée élevée avec cependant une difficulté majeure au niveau de la contribution à l'emploi, comme cela est récurrent dans les systèmes en grande culture.

La dimension économique est la plus difficile à assurer. Toutefois il y a une différence majeure entre les deux systèmes, car le Sdc30 résiste mieux aux variations de prix en gardant un niveau de rentabilité faible au lieu de très faible pour le Sdc50, en condition de prix bas. Par conséquent, le Sdc30 contribue donc davantage au développement durable par rapport au Sdc50.

IV.3 Prescriptions

Face au résultat insatisfaisant de la Maîtrise du Statut Organique des Sdci de Tart-le-Bas, il peut être envisagé certaines modifications aux itinéraires techniques de ces systèmes. Parmi les pratiques à l'origine de ce résultat, ont été identifiées : les exportations systématiques des résidus de culture des céréales à paille ; la fréquence et la profondeur du labour ; l'insuffisance des apports en fertilisation organique.

Il n'est pas envisageable de modifier la fréquence de labour, absolument nécessaire à la lutte contre les adventices. Cependant, il a été envisagé de réduire la profondeur de labour en passant de 25 cm à 20 cm, et de répartir l'apport d'amendement organique sous forme de compost bovins plus régulièrement tout au long de la rotation, et pas uniquement sur le tournesol et le maïs.

V. Discussion

V.1 Choix de la méthode d'évaluation

La méthode d'évaluation réalisée dans cette étude est destinée à des systèmes en grandes cultures, cependant l'exploitation de Tart-le-Bas fonctionne en polyculture/élevage. Pour ce type de mode de production il serait donc judicieux d'appliquer une méthode d'évaluation de la durabilité étendue à l'échelle de l'exploitation et non restreinte à l'échelle du système de culture.

En effet, le Sdc50 a été conçu pour répondre aux besoins des animaux, il peut donc difficilement être autonome sans atelier d'élevage. Ignorer les effets de l'élevage sur la durabilité des systèmes de culture de Tart-le-Bas ne retranscrit que partiellement leur contribution au développement durable.

En effet, avec l'activité d'élevage, l'indicateur de contribution à l'emploi serait revu à la hausse, jusqu'à 3 emplois environ, une seule personne ne pourrait pas gérer simultanément les animaux et les systèmes de culture.

Les effets sur la rentabilité de l'exploitation sont plus compliqués à estimer. Cependant, les objectifs principaux seraient de connaître l'impact de l'autonomie de l'exploitation par rapport aux besoins en protéines des animaux, en paille et l'apport gratuit des fertilisants organiques sur la rentabilité globale de l'exploitation.

De plus, le bilan énergétique de l'élevage est fortement négatif puisque sa production en viande est très faible par rapport à l'énergie dépensée pour la produire. Il serait donc intéressant de savoir dans quelle proportion l'utilisation du compost bovin pour des besoins de fertilisation des cultures améliore ce bilan, de même que faire pâturer les animaux au lieu de leur donner des aliments transformés plus coûteux en énergie.

V.2 Choix du logiciel Criter

Le logiciel Criter est extrêmement complet et précis, il demande d'indiquer une quantité très importante d'informations sur les systèmes de culture. Cependant, il peut être difficile de comprendre les liens entre toutes les informations renseignées, ce qui peut entraîner une sous-estimation de l'importance de certains détails sur le résultat final et ainsi nuire à la crédibilité des résultats. Ce florilège d'information tolère donc difficilement la moindre imprécision.

Si l'objectif est de caractériser un seul système de culture, ses tendances principales sur sa contribution au développement durable ne seront pas erronées, cependant lorsqu'il s'agit de comparer deux systèmes de cultures, il faut se montrer extrêmement précis dans le renseignement des caractéristiques de ces systèmes, et prudent sur les conclusions à tirer par rapport au résultat final. L'avantage de comparer deux systèmes de culture conduits par le même agriculteur (Sdc30 et Sdc50 de Tart-le-Bas) fait qu'il est facile d'avoir accès à la même quantité et qualité d'information pour chaque système.

V.3 Sélection des systèmes réalisés et du système de référence

Le choix des parcelles des systèmes réalisés de Tart-le-Bas pour l'évaluation peut être discuté. Ces parcelles ont été sélectionnées parce qu'elles avaient une succession culturale identique au système pratiqué. Ceci a permis de comparer les itinéraires techniques d'une même culture présente à la fois dans le système de culture pratiqué et réalisé, et avec les mêmes précédents culturales. Cependant, il aurait très bien pu être envisagé d'évaluer toutes les parcelles de l'exploitation afin d'épouser encore davantage la réalité d'une exploitation fonctionnant avec des systèmes innovants relativement complexes à gérer (diversité culturales importantes), et devant s'adapter à des impératifs à la fois commerciaux et agronomiques. Cependant, la quantité d'information à renseigner pourrait aussi être davantage la source d'erreurs et d'imprécisions que d'informations supplémentaires.

Le choix du système de référence peut également être remis en cause étant donné que celui-ci n'avait pas été défini spécifiquement par rapport aux systèmes de cultures de Tart-le-Bas. Ses caractéristiques liées au sol sont légèrement moins favorables au rendement (sol moins profond) contrairement au sol de Tart-le-Bas. En effet, au sein de la plaine alluviale de Dijon les sols varient beaucoup, même s'ils sont très proches géographiquement, l'idéal aurait donc été de sélectionner un système local dominant avec un sol vraiment identique à celui des Sdci de Tart-le-Bas. Ceci pose la question de la sensibilité des performances en fonction de la référence choisie (Hirshy, 2013).

Afin d'estimer cette sensibilité et ainsi valider les performances des Sdci de Tart-le-Bas par rapport à un système local dominant, il serait intéressant de sélectionner plusieurs agriculteurs correspondant aux pratiques dominantes de la Petite Région Agricole de la plaine de Dijon et les comparer aux Sdci.

Pour synthétiser, il pourrait être envisagé d'évaluer toutes les parcelles des Sdci de Tart-le-Bas avec plusieurs systèmes locaux dominants de la Petite Région Agricole de la plaine de Dijon centrés sur un contexte pédologique identique au Sdci, afin de réaliser des statistiques de comparaison plus solides entre la référence et l'innovation.

V.4 Choix des hypothèses de prix

Les hypothèses de prix ont été déterminées à dire d'expert, en collaboration avec l'expérimentateur, et ont donc une part de subjectivité importante. De plus, il a été décidé que des prix hauts de vente des cultures coïncidaient avec des prix hauts d'engrais et inversement, selon une observation faite par le chef d'exploitation de Tart-le-Bas d'après ces dernières années, et une étude de l'APCA sur l'évolution des prix des engrais azotés. Cette hypothèse a permis de simplifier le contexte de production mais la réalité est certainement plus complexe, avec des relations entre les prix des engrais et des cultures très difficiles à identifier (Pons, 2013 ; Lechenet, 2012).

V.5 Choix de la méthode Masc

La méthode Masc d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture est basée sur des principes d'agrégation, qui entraînent obligatoirement une moindre précision des résultats. Cette agrégation simplifie la lecture de l'évaluation, en opposition aux indicateurs de Criter difficilement accessibles à des novices, Masc permet de communiquer les grandes tendances de la durabilité d'un système à un large public, mais également de faciliter la comparaison de plusieurs systèmes en mettant en évidence les points forts et les points faibles de chacun des systèmes.

V.6 Les Sdci expérimentaux de Tart-le-Bas

Les systèmes de culture de Tart-le-Bas tiennent lieu d'expérimentation en matière d'innovation agricole et de protection intégrée des cultures, cependant ils ne sont pas destinés à être transposés au sein d'autres exploitations. Ils ont été conçus en réponse aux caractéristiques du contexte pédo-climatique locale (facilité d'irrigation, sols fertiles) et aux besoins du contexte de production (élevage). Adapter les pratiques agricoles au milieu, au lieu de modifier le milieu par la chimie est un principe essentiel de la production intégrée. La mise en œuvre des systèmes de Tart-le-Bas n'a donc pas pour objectifs de valider des pratiques mais bien des principes de production intégrée qui eux pourront servir d'expérience sur laquelle s'appuyera pour encourager le développement d'autres systèmes innovants.

Conclusions

Face aux nombreuses dégradations de l'environnement dont les pratiques agricoles peuvent être responsables (qualité de l'eau...), le plan national Ecophyto 2018 a été mis en place, visant en partie à réduire en partie la dépendance aux pesticides dans l'agriculture et ainsi de manière plus large répondre aux exigences européennes de développement durable.

La ferme de Tart-le-Bas s'inscrit dans ce projet, en faisant partie du RMT Système de culture innovant et étant un site d'expérimentation en conditions réelles de production intégrée des cultures et ainsi devenant une référence sur laquelle pourront s'appuyer d'autres projets.

L'objectif de cette étude a été dans un premier temps de réaliser une caractérisation multicritère (logiciel Criter) des Sdci de Tart-le-Bas par l'analyse d'indicateurs discrétisés les uns des autres et en comparant ces performances par rapport à un système de culture de référence, puis dans un second temps de réaliser une évaluation multicritère (méthode Masc) de la durabilité des systèmes de cultures innovants de Tart-le-Bas afin d'estimer leur contribution au développement durable de manière plus globale.

La différence majeure entre les Sdc30 et le Sdc50 de Tart-le-Bas est la dimension économique, plus performante au niveau du Sdc30. Du côté de la dimension environnementale, c'est la pression énergétique qui est deux fois moins importante pour le Sdc50. Et enfin, pour la dimension sociale, le Sc50 semble être moins performant par rapport au risque pour la santé de l'apporteur en utilisant des produits plus nocifs (insecticides et fongicides) pour l'homme que le Sdc30, malgré un IFT divisé par 2. De plus, le point faible commun aux deux systèmes est la maîtrise du statut organique du sol, avec une note Indigo inférieure à 7, conduisant à proposer des prescriptions afin d'améliorer cette note.

De plus, les résultats de cette étude ont pu montrer que les Sdc50 de Tart-le-Bas avait un impact environnemental fortement réduit par rapport à un système de culture de référence, en particulier au niveau de la pollution des eaux (notes Indigo élevées), de la lixiviation des nitrates (<5kg/ha/an au niveau des Sdci réalisés), de la consommation d'énergie (divisé par 2) et de l'efficacité énergétique (2 fois plus importante). D'un point de vue économique, le Sdc50 semble légèrement plus faible que le système de référence, au niveau de la marge semi-nette et de l'indépendance face aux aides, cependant leur efficacité économique est quasiment identique. Au niveau de la dimension sociale, les résultats surtout au niveau du risque pour la santé de l'apporteur nettement inférieur pour les Sdci de Tart-le-Bas.

Dans une prochaine étude il serait intéressant de comparer le Sdc30 avec un système de référence, ce qui n'a pas pu être fait ici par manque de données. Face aux résultats obtenus, il est possible de faire l'hypothèse que ce système serait supérieur économiquement au système de référence tout en restant performant d'un point de vue environnemental. De plus, il sera intéressant de poursuivre l'évaluation des systèmes de cultures réalisés de Tart-le-Bas et de l'étendre à d'autres parcelles de l'exploitation afin de confirmer ou pas les tendances de performances de durabilité de ces Sdci.

Le développement des systèmes de cultures intégrés semble être une alternative intéressante pour répondre aux objectifs de développement de ces prochaines années. La démarche de réaliser régulièrement des évaluations multicritères de la durabilité des systèmes de culture innovants permet de rentrer dans des boucles de progrès afin de continuer à concevoir, évaluer et progresser.

Bibliographie

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Le droit français et les milieux aquatiques [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.eaurmc.fr/pedageau/la-gestion-de-leau-en-france/historique.html> > (consulté le 20/05/2014).

Agence régional de santé. Qualité de l'eau distribuée en Côte d'Or [en ligne]. Disponible sur : < http://www.ars.bourgogne.sante.fr/fileadmin/BOURGOGNE/publications/ARS/DSP/eau_de_consommation_2010/21aep_nitrate_2012.pdf > (consulté le 11/04/2014).

AUBERTOT J-N., GUICHARD L., JOUY L., MISCHLER P., OMON B., PETIT M-S., PLEYBER E., REAU R., SEILLER A. Guide Stephy pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. [en ligne], 2010. Disponible sur : < http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GUIDE_STEPHYopt.pdf > (consulté le 20/03/2014).

BOHANEC M., DZEROSKI S., ZNIDARSIC M., Multi-attribute modelling of economic and ecological impacts of cropping systems. Informatica, 2004, n°28, pp 387-392.

BOCKSTALLER C., GIRARDIN P., Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO®, 2008. BP 20507 68021 COLMAR Cedex: UMR Nancy-Université -INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, 114p.

BRIARD Lorraine. « Plus d'agronomie, moins d'intrants » Evaluation multicritère de systèmes de culture intégrés testés en Bourgogne : Rapport de stage diplôme d'ingénieur. Ingénieur agronome: ENITA de Clermont-Ferrand, 2007, 40p.

CLAIR A. Notice explicative de la feuille de Dijon à 1/50 000. [en ligne], 1982. Disponible sur : < <http://ficheinfoterre.brgm.fr/Notices/0500N.pdf> > (consulté le 19/05/2014).

Commission de l'éthique de la Science et de la technologie. Divers types d'agriculture, GROSCLAUDE J [en ligne], 2001. Disponible sur : < www.ethique.gouv.qc.ca >

Commission mondiale sur l'environnement et le développement. Rapport Brundtland, Notre avenir à tous [en ligne], 1987. Disponible sur : < http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf > (consulté le 14/05/2014)

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Présentation & principes d'utilisation, 2011. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 49 p.

CRAHEIX D., ANGEVIN F., BERGEZ J.-E., BOCKSTALLER C., COLOMB B., GUICHARD L., REAU R., SADOK W., DORE T., MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0, 2011. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.

DELACROIX M., VULCANOT-GREULLET N. 5^{ème} campagne de surveillance des nitrates dans les eaux en région Bourgogne Dijon : Direction Régionale de l'Environnement de l'aménagement et du logement, 2013, 51p.

FREDON Bourgogne. Qualité de l'eau en Bourgogne [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.fredon-bourgogne.com/112-qualite-de-l-eau-en-bourgogne.html> > (consulté le 15/04/2014)

HIRSHY Matthieu. Etude des composantes de la durabilité de systèmes de culture du Réseau Mixte Technologique « Systèmes de Culture Innovants » : Rapport de stage de diplôme d'ingénieur. Ingénieur agronome : AgroCampus Ouest de Rennes, 2013, 30p.

HIRSHY M., RAVIER C., LORIN M. CRITER 4.0 Manuel d'utilisateur. Grignon :INRA UMR 211 Agronomie, 2014, 128p.

- IGEPAC Bourgogne. La quatrième programme d'action nitrates en Côte d'Or [en ligne]. Disponible sur : < http://igepac.bourgogne.over-blog.com/pages/Le_quatrieme_programme_daction_nitrates_en_Cote_dOr-1661734.html > (consulté le 20/05/2014).
- LECHENET Martin. Reconquête de la qualité des eaux d'un bassin versant du Nord de la Côte d'Or : Rapport de stage de diplôme d'ingénieur. Ingénieur agronome: Montpellier SupAgro, 2012, 53p
- MORONVAL J-R. Construire des systèmes de cultures intégrés, Dijon, Educagri éditions, 2012. 271p.
- MOYEN P, Rotation, agriculture, [en ligne], 2014. Disponible sur : < <http://www.universalis.fr/encyclopedie/rotation-agriculture/> > (consulté le 10/05/2014)
- PETIT M.-S., REAU R., DUMAS M., MORAIN M., OMON B., JOSSE S. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. Innovations agronomiques, 2012, n° 20, pp 79-100.
- PONS V. Evolution du prix des engrais azotés : le prix du blé joue désormais un rôle significatif. Analyses et perspectives, 2013, n°1306, 4p.
- POQUET Maxime. Evaluation *ex ante*, multicritère et pluriannuelle de la durabilité de deux systèmes de culture de l'exploitation agricole du lycée agricole de Quétigny (21) : Rapport de stage de Master 2. Master2 Espace rurale et environnement : Université de Bourgogne, 2012, 48p.
- REAU R., DORE T., Système de culture innovants et durables, Quelles méthodes pour les mettre au point ? Dijon Educagri éditions, 2008, pp 29-51.
- République française. Le service public d'information sur l'eau [en ligne]. Disponible sur : < http://www.eaufrance.fr/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/?id_article=35 > (consulté le 20/05/2014).
- SALVAUDON Chloé. Inventaire des carabidés dans une zone de grandes cultures au sein de l'exploitation de Tart-le-Bas dans la plaine de Dijon : Rapport de stage de Master 1. Master 1Ecologie et Biologie des populations : Université de Poitiers, 2014, 26p.
- SEBILLOTTE M. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des taches de l'agronome. Cahiers. ORSTOM, série biologie, 1974, n° 24, pp 3-25.
- SEBILLOTTE M. Système de culture: un concept opératoire pour les agronomes. In Les systèmes de culture, Paris L. Combe, D. Picard (Eds.), 1990, INRA, pp 165-196.
- VERRIERE J. Le progrès agricole est-il devenu un mythe dangereux ?. Géographie rurale [en ligne], 1977, n°95, pp 247-257. Disponible sur : < http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/noroi_0029-182X_1977_num_95_3_3652 > (consulté le 14/05/2014).
- VIAUX P. Systèmes intégrés : une troisième voie en grande culture, Paris, Edition Agridécisions, 1999, 213p.
- WEBER J-L et LAVOUX T. Réflexion sur les critères de définition et de choix des indicateurs d'environnement, notes de méthode de l'IFEN, 1994, n°3, Orléans : IFEN, 54 p

Listes des annexes

Annexe 1 : Caractéristiques de sol

Annexe 2 : Hypothèses de prix

Annexe 3 : Résultats des calculs de CRITER détaillés par culture

Annexe 4 : Arbres Masc en prix moyens

Annexe 5 : Valeurs seuils de l'arbre Masc

Annexe 6 : Appréciation de l'expérimentateur de certains critères d'entrée de l'arbre Masc

Annexe 7 : Schémas décisionnels

Annexe 8 : Itinéraires techniques

Annexe 1 : Caractéristiques de sol

Caractéristiques de sol moyennes de Tart-le-Bas

Sol drainé	non
Battance	0
Hydromorphe	oui
Profondeur	100 cm
Réserve utile	150 mm
Densité apparente	1,35
Texture	Argileux
% argile	52
% cailloux	0
% calcaire	24
pH	8.1
P2O5	0,152
Méthode d'analyse	Joret-Hébert
Pouvoir fixateur de P	élevé
% Matière organique	4,15

Caractéristiques de sols Epenousses et Elargents

Sol drainé	non
Battance	0
Hydromorphe	oui
Profondeur	120 cm
Réserve utile	160 mm
Densité apparente	1,35
Texture	Argileux
% argile	52
% cailloux	0
% calcaire	24
pH	8.1
P2O5	0,152
Méthode d'analyse	Joret-Hébert
Pouvoir fixateur de P	élevé
% Matière organique	4,15

Caractéristiques de sol Pré Garrot

Sol drainé	non
Battance	0
Hydromorphe	oui
Profondeur	90 cm
Réserve utile	125 mm
Densité apparente	1,35
Texture	Argileux
% argile	52
% cailloux	0
% calcaire	24
pH	8.1
P2O5	0,152
Méthode d'analyse	Joret-Hébert
Pouvoir fixateur de P	élevé
% Matière organique	4,15

Caractéristiques de sol LoDo

Sol drainé	oui
Battance	1
Hydromorphe	non
Profondeur	70 cm
Réserve utile	120 mm
Densité apparente	1,35
Texture	Argilo-limoneux
% argile	48,1
% cailloux	0
% calcaire	1,25
pH	7
P2O5	0,451
Méthode d'analyse	Joret-Hébert
Pouvoir fixateur de P	élevé
% Matière organique	3,37

Annexe 2 : Hypothèses de prix

Prix de vente des cultures €/t

	Prix bas	Prix moyen	Prix haut
Blé TH	125	175	225
Orge P	100	145	195
Orge H	110	165	220
Pois	100	150	230
Toumesol	240	360	430
Maïs	110	140	180
Soja	200	280	340
Moutarde	650	850	1000
Luzerne	70	95	125
Colza	325	425	500

Unité fertilisante (€/kg)

N	0,8	1	1,3
P	0,5	0,7	1,2
K	0,4	0,6	0,9

Coût des semences

	Euros	Unité de semence
Blé TH	0,68	/kg
Orge P	0,72	/kg
Orge H	0,78	/kg
Pois	0,78	/kg
Toumesol	195	/150 000 graines
Maïs	83,6	/50 000 graines
Soja	55,2	/150 000 graines
Moutarde	3	/kg
Luzerne	5,5	/kg

Engrais (€/kg)

	Prix bas	Prix moyens	Prix Hauts
Ammonitrate 33,5	0,27	0,33	0,44
KCl 60	0,24	0,36	0,48
0 24 24	0,22	0,31	0,5
Super 45		0,32	
0-27-18		0,3	
N34,5 14,5S		0,41	
Solution 390		0,39	
Magsou		0,35	
18-25-14S		0,57	
Mag Phos (0-44-20)		0,44	
Solubor		2,2	
26N- 32,5S		0,42	
N38-14,6S		0,45	

Annexe 3 : Résultats des calculs de CRITER détaillés par culture

Sdc50 pratiqués (prix moyens)

Conduite		MSN	IND	EFF	QS	EMP	FMP	CIC	TVTE	TOX	MPEP	MPES	MPNO3B	MPA	MSO	CENB	EEN	PSPH	BCAP	RIP	BCAK
~		664.9	58.8	152.03	1.06	5.46	95.45	0.89	6.0	1.89	8.89	9.6	1.36	8.02	6.25	9.46	14.5	24.0	-24.31	0.0	-96.76
1ABlé_SdC50_Quetigny		901.88	69.62	185.19	1.0	4.4	91.76	2.0	6.0	3.0	9.184	9.291	0.46	7.156	7.63	9.31	12.65	0.0	-50.7	0.0	-39.0
2AOrge_SdC50_Quetigny		578.11	52.61	139.46	2.0	6.15	100.0	1.0	6.0	1.0	9.044	9.446	2.3	7.322	5.72	9.67	15.41	0.0	-48.5	0.0	-77.2
3APois_SdC50_Quetigny		342.83	20.09	111.36	0.0	3.67	90.0	0.0	6.0	4.0	7.705	9.124	2.85	6.974	5.38	6.64	9.9	48.0	12.0	0.0	-51.75
4ABlé_SdC50_Quetigny		929.95	70.54	188.17	2.0	5.24	89.41	2.0	6.0	3.0	8.481	9.781	0.41	7.156	4.84	10.67	15.49	0.0	-55.35	0.0	-81.05
5ATournesol_SdC50_Quetigny		640.05	57.2	157.03	0.0	6.25	87.5	0.0	6.0	0.0	10.0	10.0	1.56	10.0	5.87	5.19	10.8	0.0	-11.6	0.0	-29.4
1BBlé_SdC50_Quetigny		860.85	68.18	173.77	2.0	4.49	88.24	2.0	6.0	3.0	8.481	9.781	0.4	7.156	5.95	11.75	13.94	0.0	-54.7	0.0	-80.55
2BOrge_SdC50_Quetigny		569.51	51.9	137.92	2.0	6.2	100.0	1.0	6.0	1.0	9.044	9.446	2.3	7.322	5.67	9.71	15.35	0.0	-48.5	0.0	-77.2
3BPois_SdC50_Quetigny		342.83	20.09	111.36	0.0	3.67	90.0	0.0	6.0	4.0	7.705	9.124	2.85	6.974	5.87	6.64	9.89	48.0	12.0	0.0	-51.75
4BBlé_SdC50_Quetigny		929.95	70.54	188.17	2.0	5.24	89.41	2.0	6.0	3.0	8.481	9.781	0.41	7.156	4.77	10.69	15.46	0.0	-55.35	0.0	-81.05
5BTournesol_SdC50_Quetigny		640.05	57.2	157.03	0.0	6.25	87.5	0.0	6.0	0.0	10.0	10.0	1.77	10.0	5.87	5.19	10.8	0.0	-11.6	0.0	-29.4
1CBlé_SdC50_Quetigny		860.85	68.18	173.77	2.0	4.49	88.24	2.0	6.0	3.0	8.481	9.781	0.4	7.156	5.95	11.75	13.94	0.0	-54.7	0.0	-80.55
2COrge_SdC50_Quetigny		578.11	52.61	139.46	2.0	6.15	100.0	1.0	6.0	1.0	9.044	9.446	2.3	7.322	5.67	9.67	15.41	0.0	-48.5	0.0	-77.2
3CPois_SdC50_Quetigny		342.83	20.09	111.36	0.0	3.67	90.0	0.0	6.0	4.0	7.705	9.124	2.85	6.974	5.87	6.64	9.9	48.0	12.0	0.0	-51.75
4CBlé_SdC50_Quetigny		929.95	70.54	188.17	2.0	5.24	89.41	2.0	6.0	3.0	8.481	9.781	0.4	7.156	4.77	10.69	15.46	0.0	-55.35	0.0	-81.05
5CMais_SdC50_Quetigny		680.79	59.76	135.75	2.0	6.06	100.32	1.0	6.0	1.0	8.111	8.959	1.1	8.54	6.14	26.59	6.27	0.0	-40.21	0.0	-60.69
6CLuzerne_SdC50_Quetigny		304.8	10.12	103.36	0.0	7.47	100.0	0.0	6.0	0.0		10	10 1.1		10 7.25	7.14	23.57	96.0	38.5	0.0	-200.0
7CLuzerne_SdC50_Quetigny		789.65	65.31	163.33	0.0	7.64	127.27	0.0	6.0	0.0		10	10 0.0		10 9.4	6.59	35.79	96.0	5.0	0.0	-328.0
8CLuzerne_SdC50_Quetigny		745.15	63.24	170.45	0.0	5.96	109.09	0.0	6.0	0.0		10	10 1.1		10 9.94	5.74	35.22	96.0	18.0	0.0	-264.0

QAP	SENS	DMEAU	AUTEA	UHSL	IFTT	DFC	CT	CO	CM	PB	AD	NP	PEN	CEN	IFTH	IFTRav	IFTF	IFTREGUL	BCAN	QANTOT	QANMIN	MPNO3	MNH3	MN2O
28.31	1.0	229.83	0.95	0.26	1.34	3.15	751.33	334.87	416.46	1142.27	273.95	14.763	137.16	6.771995134	0.61	0.25	0.48	0.0	-59.04	85.93	70.86	9.33	9.63	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.0	1.18	~	737.07	371.02	366.05	1365.0	273.95	11.0	117.78	6.84	0.0	0.5	0.68	0.0	-24.83	115.575	115.575	5.49	9.7	10.0
0.0	~	307.0	1.0	0.0	1.16	~	770.84	295.9	474.94	1075.0	273.95	15.16	148.9	6.67	0.66	0.0	0.5	0.0	-34.05	90.45	90.45	17.41	9.8	10.0
48.0	~	228.0	0.825	0.14	1.75	~	606.12	314.32	291.8	675.0	273.95	13.0	65.7	8.22	0.25	0.5	1.0	0.0	-139.5	0.0	0.0	21.58	10.0	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.6	2.08	~	744.0	358.9	385.1	1400.0	273.95	16.0	165.16	6.19	0.9	0.5	0.68	0.0	-21.08	135.675	135.675	0.97	9.65	10.0
22.0	~	154.0	1.0	0.38	0.75	~	641.9	226.95	414.95	1008.0	273.95	12.0	56.0	9.02	0.75	0.0	0.0	0.0	9.8	77.0	0.0	11.81	10.0	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.6	2.2	~	795.6	417.55	378.05	1382.5	273.95	15.0	163.65	5.7	1.02	0.5	0.68	0.0	15.9	170.85	170.85	4.78	9.55	10.0
0.0	~	0.0	1.0	0.0	1.16	~	779.44	295.9	483.54	1075.0	273.95	15.16	148.9	6.65	0.66	0.0	0.5	0.0	-34.05	90.45	90.45	17.41	9.8	10.0
48.0	~	228.0	0.825	0.14	1.75	~	606.12	314.32	291.8	675.0	273.95	13.0	65.7	8.22	0.25	0.5	1.0	0.0	-139.5	0.0	0.0	21.58	10.0	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.6	2.08	~	744.0	358.9	385.1	1400.0	273.95	16.0	165.16	6.18	0.9	0.5	0.68	0.0	-21.08	135.675	135.675	0.97	9.65	10.0
22.0	~	154.0	1.0	0.38	0.75	~	641.9	226.95	414.95	1008.0	273.95	12.0	56.0	9.02	0.75	0.0	0.0	0.0	9.8	77.0	0.0	13.4	10.0	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.6	2.2	~	795.6	417.55	378.05	1382.5	273.95	15.0	163.65	5.7	1.02	0.5	0.68	0.0	15.9	170.85	170.85	4.78	9.55	10.0
0.0	~	0.0	1.0	0.0	1.16	~	770.84	295.9	474.94	1075.0	273.95	15.16	148.9	6.67	0.66	0.0	0.5	0.0	-34.05	90.45	90.45	17.41	9.8	10.0
48.0	~	228.0	0.825	0.14	1.75	~	606.12	314.32	291.8	675.0	273.95	13.0	65.7	8.22	0.25	0.5	1.0	0.0	-139.5	0.0	0.0	21.58	10.0	10.0
0.0	~	327.0	1.0	0.6	2.08	~	744.0	358.9	385.1	1400.0	273.95	16.0	165.16	6.18	0.9	0.5	0.68	0.0	-21.08	135.675	135.675	4.78	9.65	10.0
26.0	~	177.0	0.774	0.53	2.03	~	1138.1	734.76	403.35	1544.9	273.95	16.0	166.63	0.96	2.03	0.0	0.0	0.0	98.42	230.84	139.84	8.33	6.22	10.0
103.5	~	479.0	1.0	0.0	0.0	~	919.15	333.5	585.65	950.0	273.95	18.25	168.32	7.95	0.0	0.0	0.0	0.0	-148.75	26.25	0.0	8.33	10.0	10.0
96.0	~	110.0	1.0	0.0	0.0	~	814.3	196.0	618.3	1330.0	273.95	19.0	235.65	8.25	0.0	0.0	0.0	0.0	-245.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0
96.0	~	110.0	1.0	0.0	0.0	~	668.8	196.0	472.8	1140.0	273.95	15.0	201.98	8.71	0.0	0.0	0.0	0.0	-210.0	0.0	0.0	8.33	10.0	10.0

Sdc50 réalisés Pré Garrot (prix moyens)

Conduite	MSN	IND	EFF	QS	EMP	FMP	CIC	TVTE	TOX	MPEP	MPES	MPNO3B	MPA	MSO	IRRC	CENB	EEN	PSPH	BCAP	BCAK
~	627.33	56.33	155.76	0.63	4.39	83.88	1.38	6.0	1.38	8.41	9.2	4.5	8.0	4.83	0.0	9.27	11.33	20.78	-14.84	-26.67
1ABlé_Sdc50R_Quetigny	1013.0	72.96	214.85	1.0	4.76	88.24	1.0	6.0	1.0	8.464	9.482	3.19	9.854	3.58	0.0	9.72	16.84	0.0	-54.7	-80.55
2Orge_Sdc50R_Quetigny	617.38	55.63	155.97	0.0	5.26	98.57	1.0	6.0	1.0	8.722	9.305	5.01	9.341	3.58	0.0	8.62	17.1	0.0	-47.85	-76.65
3Pois_Sdc50R_Quetigny	251.13	-9.08	95.84	0.0	4.52	70.0	2.0	6.0	3.0	7.806	8.683	4.77	6.129	3.8	0.0	5.44	9.4	0.0	-28.0	-40.25
4ABlé_Sdc50R_Quetigny	909.52	69.88	173.1	2.0	5.65	96.47	1.0	6.0	2.0	6.269	9.265	0.8	7.929	2.99	0.0	13.08	13.32	73.75	14.5	-10.3
5Tournesol_Sdc50R_Quetigny	685.62	60.04	170.74	0.0	5.17	86.25	1.0	6.0	1.0	8.142	8.478	3.35	3.021	5.6	0.0	5.46	10.12	0.0	10.88	59.02
1BBlé_Sdc50R_Quetigny	818.99	66.55	179.28	2.0	3.59	78.82	1.0	6.0	1.0	9.5	9.434	0.8	9.501	5.6	0.0	12.79	11.29	37.5	-11.15	-32.9
3BSoja_Sdc50R_Quetigny	321.17	14.7	107.06	0.0	4.63	73.08	2.0	5.0	0.0	9.227	9.228	13.05	9.228	6.06	0.0	15.67	2.97	0.0	-25.58	-40.92
4BPois_Sdc50R_Quetigny	401.81	31.82	127.97	0.0	1.53	79.63	2.0	6.0	2.0	9.116	9.725	5.04	8.989	7.42	0.0	3.4	17.11	55.0	23.15	9.21

QAP	DMEAU	AUTEA	IFTT	DFC	CT	CO	CM	PB	NP	PEN	CEN	IFTH	IFTRav	ITF	IFTREGUL	BCAN	QANTOT	QANMIN	MPNO3	MNH3	MN2O
26.28	263.38	0.97	1.58	2.38	633.72	362.92	270.8	987.09	11.938	105.08	6.865271949	0.65	0.19	0.66	0.08	-42.01	87.67	80.11	12.8	9.74	7.85
0.0	275.0	1.0	1.56	~	643.48	339.91	303.56	1382.5	11.0	163.65	6.65	0.76	0.0	0.8	0.0	-36.7	118.255	118.255	23.24	9.76	8.18
0.0	290.0	1.0	1.15	~	613.57	300.51	313.06	957.0	15.0	147.39	7.19	0.0	0.0	0.51	0.64	-35.9	87.1	87.1	12.74	9.81	8.66
0.0	270.0	1.0	1.52	~	547.82	292.35	255.46	525.0	10.0	51.1	8.88	0.52	0.0	1.0	0.0	-108.5	0.0	0.0	33.54	10.0	7.0
73.75	327.0	1.0	2.68	~	869.43	501.81	367.62	1505.0	19.0	174.22	5.12	0.6	1.0	1.08	0.0	-23.5	144.05	144.05	1.14	9.63	7.79
44.0	164.0	1.0	1.97	~	581.93	315.21	266.73	993.6	11.0	55.2	8.87	1.97	0.0	0.0	0.0	-5.74	60.5	0.0	9.48	9.36	9.97
37.5	360.0	1.0	1.08	~	687.46	435.53	251.94	1232.5	12.0	144.37	5.24	0.0	0.0	1.08	0.0	43.2	180.9	180.9	2.67	9.58	7.22
0.0	155.0	0.691	0.98	~	668.93	393.55	275.37	716.15	12.0	46.55	4.07	0.98	0.0	0.0	0.0	-45.47	110.55	110.55	20.49	9.74	7.0
55.0	266.0	1.0	1.69	~	457.14	324.49	132.65	585.0	5.5	58.13	10.0	0.4	0.49	0.8	0.0	-123.43	0.0	0.0	33.83	10.0	7.0

Sdc50 réalisés Les Epenousses (prix moyens)

Conduite	MSN	IND	EFF	QS	EMP	FMP	CIC	TVTE	TOX	MPEP	MPES	MPNO3B	MPA	MSO	IRRC	CENB	EEN	PSPH	BCAP	BCAK
~	674.34	59.38	154.14	0.38	6.14	102.79	1.25	4.0	0.88	9.24	9.36	0.46	8.88	7.56	0.0	8.55	16.08	36.59	-20.91	-51.87
1luz_Sdc50R_Quetigny	388.17	29.43	110.64	0.0	10.04	125.0	1.0	4.0	0.0	9.159	9.088	0.08	9.159	7.28	0.0	9.32	18.78	0.0	-81.25	-70.0
2Luz_Sdc50R_Quetigny	488.06	43.87	129.09	0.0	6.01	90.91	1.0	4.0	0.0	10	10	0.35	10	10.0	0.0	6.6	21.21	100.0	35.0	-10.0
3Luz_Sdc50R_Quetigny	526.76	47.99	128.49	0.0	7.76	109.09	1.0	4.0	0.0	10	10	0.0	10	10.0	0.0	7.57	22.19	100.0	22.0	-44.0
4Blé_Sdc50R_Quetigny	1126.8	75.69	227.36	1.0	5.95	97.65	1.0	4.0	1.0	9.5	9.027	0.21	9.5	8.7	0.0	8.1	21.7	0.0	-59.9	-84.55
5Orge_Sdc50R_Quetigny	891.11	69.26	205.87	0.0	3.98	125.29	1.0	4.0	1.0	9.371	9.416	2.1	9.451	7.37	0.0	8.9	19.75	0.0	-60.01	-86.94
6Soja_Sdc50R_Quetigny	641.11	57.27	158.57	0.0	5.85	101.43	2.0	4.0	1.0	9.184	8.561	0.55	9.186	6.47	0.0	6.04	10.71	0.0	-35.5	-56.8
7Blé_Sdc50R_Quetigny	620.3	55.84	143.37	2.0	3.63	72.94	1.0	4.0	3.0	8.613	9.729	0.04	9.761	4.67	0.0	11.3	12.12	61.25	15.85	-6.65
8Soja_Sdc50R_Quetigny	712.44	61.55	180.98	0.0	5.9	100.0	2.0	4.0	1.0	8.118	9.05	0.35	3.935	5.95	0.0	10.56	6.04	31.5	-3.5	-56.0

	SENS	DMEAU	AUTEA	EPI	UHSL	IFTT	DFC	CT	CO	CM	PB	NP	PEN	CEN	IFTH	IFTRav	ITFT	ITFREGL	BCAN	QANTOT	QANMIN	MPNO3	MNH3	MN2O
36.59	1.0	177.38	0.97	3.0	0.45	1.54	1.23	739.5	315.89	391.73	1139.89	16.0	137.44	7.224478552	0.68	0.38	0.48	0.0	-141.81	43.55	43.55	1.78	9.91	7.45
0.0	~	36.0	1.0	~	0.88	0.88	~	1073.3	405.81	667.47	1187.5	25.0	175.0	6.84	0.88	0.0	0.0	0.0	-218.75	0.0	0.0	0.39	10.0	7.0
100.0	~	7.0	1.0	~	0.0	0.0	~	735.89	313.99	421.9	950.0	16.0	140.0	8.24	0.0	0.0	0.0	0.0	-175.0	0.0	0.0	0.6	10.0	7.0
100.0	~	141.0	1.0	~	0.0	0.0	~	887.19	349.82	537.38	1140.0	19.0	168.0	7.73	0.0	0.0	0.0	0.0	-210.0	0.0	0.0	0.0	10.0	7.0
0.0	~	327.0	1.0	~	0.0	2.08	~	669.64	325.59	344.05	1522.5	14.0	175.73	7.45	0.0	1.0	1.08	0.0	-95.65	73.7	73.7	1.36	9.84	8.87
0.0	~	271.0	1.0	~	0.0	0.51	~	582.94	320.57	262.37	1200.1	12.0	175.63	7.05	0.0	0.0	0.51	0.0	-30.45	120.6	120.6	9.28	9.76	8.14
0.0	~	155.0	1.0	~	0.53	2.8	~	626.84	283.11	343.73	994.0	13.0	64.61	8.55	1.1	1.0	0.7	0.0	-216.55	0.0	0.0	4.7	10.0	7.0
61.25	~	327.0	1.0	~	0.6	3.27	~	798.65	528.25	270.4	1145.0	14.0	136.82	5.9	1.1	1.0	1.17	0.0	25.4	154.1	154.1	0.37	9.7	7.62
31.5	~	155.0	0.755	~	1.58	2.77	~	541.51	null	286.51	980.0	15.0	63.7	6.25	2.39	0.0	0.38	0.0	-213.5	0.0	0.0	1.73	10.0	7.0

Sdc30 pratiqué (prix moyens)

Conduite		MSN	IND	EFF	QS	EMP	FMP	CIC	TVTE	TOX	MPEP	MPES	MPNO3B	MPA	MSO	IRRC	CENB	EEN	PSPH	BCAP	BCAK
~		810.86	66.22	165.71	0.8	4.95	103.89	0.8	5.0	1.8	8.26	9.44	1.01	7.76	5.47	0.0	13.87	8.59	28.8	-12.13	-62.09
1Mais_Sdc30_Quetigny		576.94	52.52	124.4	2.0	6.94	100.32	1.0	5.0	1.0	7.088	9.036	1.11	8.892	6.76	0.0	30.24	5.52	0.0	-40.21	-60.69
2Soja_Sdc30_Quetigny		564.93	51.51	142.23	0.0	4.83	100.0	0.0	5.0	0.0	9.852	9.794	1.08	9.996	5.32	0.0	10.63	6.0	48.0	-8.0	-87.5
3Blé_Sdc30_Quetigny_		1154.7	76.28	249.49	2.0	2.77	94.12	2.0	5.0	3.0	8.481	9.781	0.4	7.157	5.59	0.0	7.89	21.71	0.0	-57.95	-83.05
4Moutarde_Sdc30_Quetig		1303.3	78.98	253.47	0.0	4.12	125.0	0.0	5.0	3.0	7.749	9.148	0.0	5.437	5.88	0.0	9.52	4.78	48.0	46.0	-2.0
5Orge_Sdc30_Quetigny		454.45	39.72	120.18	0.0	6.09	100.0	1.0	5.0	2.0	8.138	9.437	2.48	7.321	3.82	0.0	11.09	13.43	48.0	-0.5	-77.2

QAP	DMEAU	AUTEA	IFTT	DFC	CT	CO	CM	PB	NP	PEN	CEN	IFTH	IFTRav	IFTF	IFTREGUL	BCAN	QANTOT	QANMIN	MPNO3	MNH3	MN2O
34.0	224.4	0.88	2.8	3.27	817.08	374.66	371.77	1353.98	13.498	119.17	4.784604005	1.34	0.98	0.24	0.0	-17.32	109.95	91.75	11.23	9.07	10.0
26.0	177.0	0.491	2.02	~	1242.0	793.6	448.35	1544.9	17.5	166.63	0.39	2.02	0.0	0.0	0.0	98.42	230.84	139.84	10.13	6.22	10.0
48.0	168.0	0.762	0.72	~	689.02	null	335.8	980.0	12.5	63.67	6.21	0.72	0.0	0.0	0.0	-213.5	0.0	0.0	8.55	10.0	10.0
0.0	327.0	1.0	1.6	~	589.21	324.58	264.63	1470.0	9.83	171.2	7.56	0.9	0.0	0.7	0.0	-43.35	120.6	120.6	4.78	9.7	10.0
48.0	450.0	1.0	7.37	~	670.68	352.78	317.9	1700.0	12.16	45.46	6.74	1.26	4.91	0.0	0.0	94.15	96.15	96.15	0.0	9.58	10.0
48.0	0.0	1.0	2.28	~	894.5	402.35	492.15	1075.0	15.5	148.9	6.0	1.78	0.0	0.5	0.0	-22.33	102.175	102.175	18.77	9.85	10.0

Sdc30 réalisé Elargents (prix moyens)

Conduite		MSN	IND	EFF	QS	EMP	FMP	CIC	TVTE	TOX	MPEP	MPES	MPNO3B	MPA	MSO	CENB	EEN	PSPH	BCAP	BCAK	QAP
~		900.76	69.59	183.95	1.0	4.83	105.82	1.6	5.0	1.0	8.66	9.44	0.29	9.27	6.75	11.38	10.89	24.7	-14.08	-24.22	34.3
1OrgeP_Sdc30R_Quetigny		750.83	63.51	169.61	1.0	5.99	108.57	1.0	5.0	0.0	8.201	9.478	0.35	9.851	4.36	9.52	16.6	0.0	-52.4	-80.5	0.0
2Mais_Sdc30R_Quetigny		820.8	66.62	145.19	2.0	6.58	114.1	2.0	5.0	1.0	8.871	9.008	0.24	8.561	7.3	21.5	8.82	0.0	-27.3	26.97	48.0
3Soja_Sdc50R_Quetigny		740.25	62.99	181.85	0.0	4.05	105.71	2.0	5.0	0.0	9.819	9.782	0.55	9.994	7.27	4.28	15.75	50.0	13.0	-9.2	50.0
4Blé_Sdc30R_Quetigny		960.12	71.47	198.54	2.0	2.8	88.24	1.0	5.0	2.0	8.613	9.729	0.31	9.798	7.53	10.48	15.63	36.0	-18.7	-80.55	36.0
5Moutarde_Sdc30R_Quet		1231.8	77.76	267.43	0.0	4.75	112.5	2.0	5.0	2.0	7.823	9.198	0.0	8.149	7.27	11.1	3.68	37.5	15.0	22.2	37.5

DMEAU	AUTEA	UHSL	IFTT	DFC	CT	CO	CM	PB	AD	NP	PEN	CEN	IFTH	IFTRav	IFTF	BCAN	QANTOT	QANMIN	MPNO3	MNH3	MN2O
223.2	1.0	0.45	1.87	2.52	746.69	476.76	269.94	1373.52	273.95	13.0	123.86	5.864878403	1.12	0.18	0.39	-36.32	107.07	93.87	1.81	9.33	7.94
116.0	1.0	0.0	0.84	~	685.12	336.0	349.12	1162.0	273.95	15.0	157.96	6.74	0.84	0.0	0.0	-45.06	88.44	88.44	2.06	9.81	8.64
174.0	1.0	0.27	1.83	~	1210.2	881.77	328.46	1757.1	273.95	15.0	189.51	2.15	1.83	0.0	0.0	25.79	176.4	110.4	1.99	7.65	8.42
155.0	1.0	0.77	0.77	~	569.7	351.3	218.41	1036.0	273.95	10.0	67.34	9.54	0.77	0.0	0.0	-225.7	0.0	0.0	2.63	10.0	7.0
375.0	1.0	0.6	2.27	~	696.33	473.76	222.57	1382.5	273.95	11.0	163.65	6.28	1.1	0.0	1.17	14.23	169.175	169.175	2.67	9.68	7.39
296.0	1.0	0.63	3.66	~	572.12	340.99	231.12	1530.0	273.95	14.0	40.86	5.99	1.08	0.88	0.76	49.14	101.34	101.34	0.0	9.49	8.27

Sdc30 pratiqué prix moyens

[illegible]

Durabilité :				
très faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
très faible		faible à moyenne		très élevée
faible		moyenne		élevée

Sdc50 pratiqué prix moyens

[illegible]

Annexe 5 : Valeurs seuils de l'arbre Masc

Critère	Valeurs-seuils	Unité
Rentabilité	tres faible < 400.0 <= faible a moyenne < 800.0 <= moyenne a elevee < 1000.0 <= tres elevee	
Independance economique	tres faible <= 20.0 < faible a moyenne <= 40.0 < moyenne a elevee <= 60.0 < tres elevee	
Efficience economique	tres faible <= 100.0 < faible a moyenne <= 120.0 < moyenne a elevee <= 150.0 < tres elevee	
Qualite sanitaire	faible >= 2.0 > moyenne >= 1.0 > elevee	
Fourniture de matieres premieres	tres faible < 70.0 <= faible a moyenne < 80.0 <= moyenne a elevee < 90.0 <= tres elevee	
Complexite des itineraires techniques	tres elevee >= 2.5 > moyenne a elevee >= 2.0 > faible a moyenne >= 1.5 > tres faible	
Temps de veille technico-economique	eleve > 6.0 >= moyen >= 3.0 > faible	
Risque pour la sante de l'applicateur	eleve >= 2.0 > moyen >= 1.0 > faible	
Maitrise pertes dans les eaux profondes	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Maitrise pertes dans les eaux superficielles	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Maitrise des pertes de NO3	tres faible > 60.0 >= faible a moyenne > 40.0 >= moyenne a elevee > 20.0 >= tres elevee	
Quantite de P apportee en moyenne	elevee >= 100.0 > moyenne > 40.0 >= faible	
Maitrise des emissions de NH3	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Maitrise des emissions de N2O	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Maitrise des emissions de pesticides Air	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Maitrise du statut organique	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Conso. en eau d'irrigation en periode critique	elevee > 30.0 >= moyenne > 0.0 >= faible	
Demande en eau des cultures	elevee > 750.0 >= moyenne > 500.0 >= faible	
Autonomie de la ressource	faible < 75.0 <= moyenne < 85.0 <= elevee < 100.0 <= tres elevee	
Consommation en energie	elevee >= 15.858 > moyenne > 8.998 >= faible	
Efficience energetique	faible <= 6.0 < moyen <= 9.0 < eleve	
Pression Phosphore	tres elevee > 60.0 >= moyenne a elevee > 40.0 >= faible a moyenne > 20.0 >= tres faible	
IFT Insecticides	eleve > 1.5 >= moyen > 0.75 >= faible > 0.0 >= nulle	
Effet des apports de matieres organiques	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Effet des pesticides	eleve > 5.0 >= moyen > 3.0 >= faible > 0.0 >= nul	
Effet de la diversite des familles cultivees	faible <= 1.7 < moyen <= 2.5 < eleve	
Quantite de P apportee en moyenne	elevee >= 100.0 > moyenne > 40.0 >= faible	
Demande en eau des cultures	elevee > 750.0 >= moyenne > 500.0 >= faible	
Autonomie de la ressource	faible < 75.0 <= moyenne < 85.0 <= elevee < 100.0 <= tres elevee	
IFT Insecticides	eleve > 1.5 >= moyen > 0.75 >= faible > 0.0 >= nulle	
Effet des apports de matieres organiques	tres faible < 4.0 <= faible a moyenne < 7.0 <= moyenne a elevee < 9.0 <= tres elevee	
Effet des pesticides	eleve > 5.0 >= moyen > 3.0 >= faible > 0.0 >= nul	
Effet de la diversite des familles cultivees	faible <= 1.7 < moyen <= 2.5 < eleve	

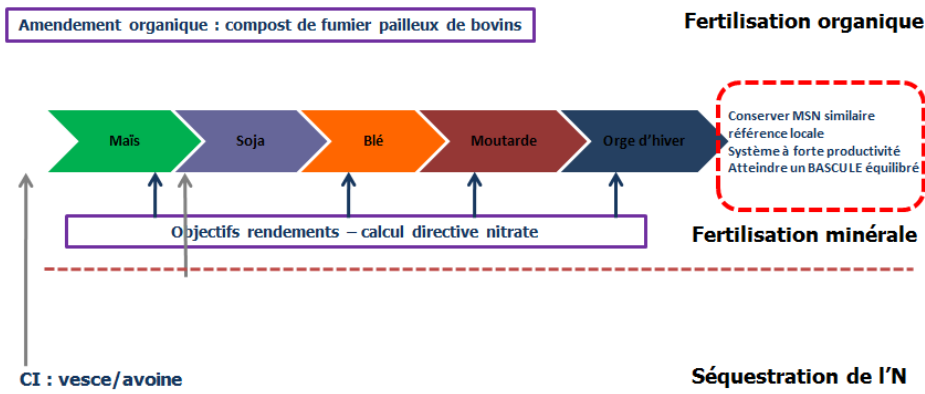
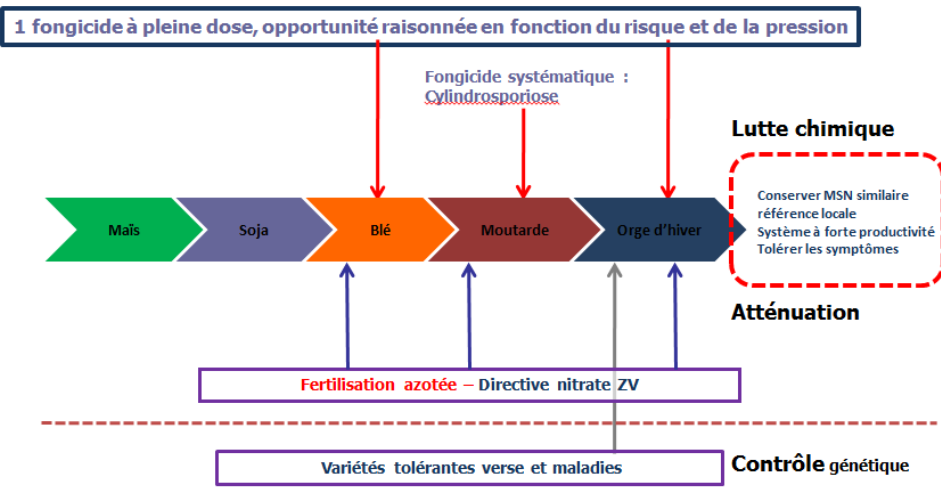
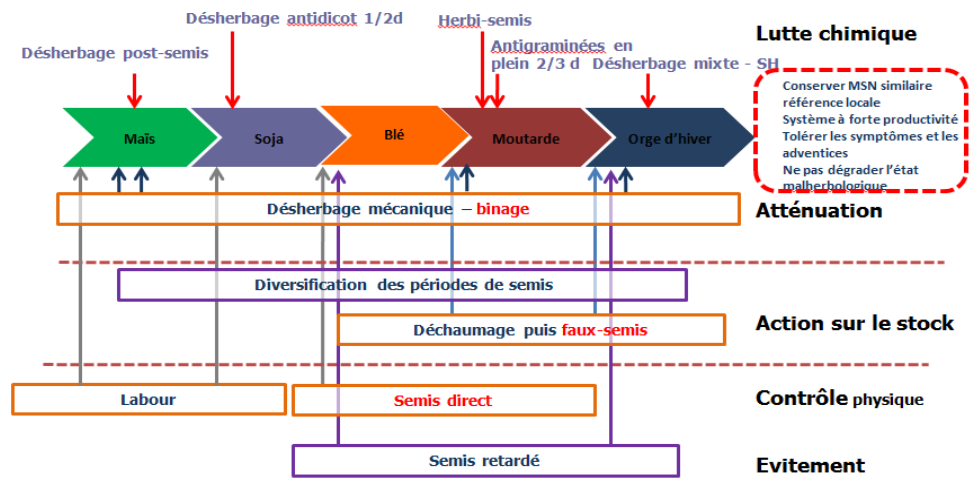
Annexe 6 : Appréciation de l'expérimentateur de certains critères d'entrée de l'arbre Masc

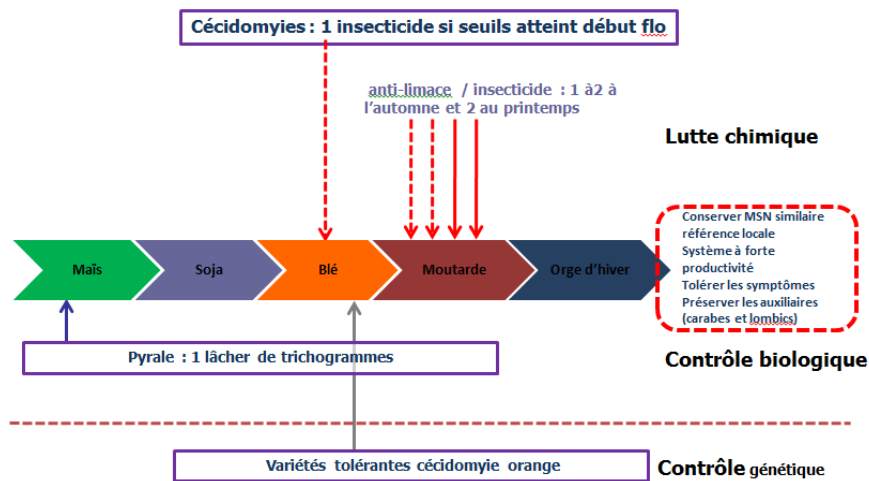
Indicateur	Description	Comment qualifier cet indicateur?	Commentaire
Maîtrise de l'état structural du sol	Indicateur décrivant l'évolution de la structure du sol, sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par la structure du sol depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: La structure du sol s'est fortement dégradée par rapport à la situation initiale Faible à moyen: La structure du sol montre quelques indices de dégradation par rapport à la situation initiale Moyen à élevé: La structure du sol s'est maintenue par rapport à la situation initiale Très élevé: La structure du sol s'est améliorée par rapport à la situation initiale	Compact sur certaines parcelles et exacerbé par certaines pratiques (passage d'engins) et les facteurs climatiques
Maîtrise du statut acido-basique du sol	Indicateur décrivant l'évolution du pH du sol, de la CEC (capacité d'échange cationique), du risque de toxicité de certains éléments minéraux, de la stabilité structurale, du blocage dans le sol de certains éléments nutritifs, de l'activité biologique, sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par le statut acido-basique du sol depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: Le statut A/B du sol s'est fortement dégradé par rapport à la situation initiale Faible à moyen: Le statut A/B du sol s'est dégradé par rapport à la situation initiale Moyen à élevé: Le statut A/B du sol s'est maintenu par rapport à la situation initiale Très élevé: Le statut A/B a été amélioré par la mise en place du SdC	
Maîtrise de la fertilité P/K	Indicateur décrivant l'évolution de la fertilité P & K, sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici, il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par la fertilité P/KI depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: La fertilité P/K s'est fortement dégradée par rapport à la situation initiale Faible à moyen: La fertilité P/K s'est dégradée par rapport à la situation initiale Moyen à élevé: La fertilité P/K s'est maintenue par rapport à la situation initiale Très élevé: La fertilité P/K a été améliorée par rapport à la situation initiale	
Maîtrise des adventices	Indicateur décrivant l'évolution de la population d'adventices (stock semencier dans le sol, niveau d'infestation dans les cultures), sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici, il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par la maîtrise des adventices depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: La pression adventices a fortement augmenté par rapport à la situation initiale, et le SdC augmente les risques d'infestation des cultures par les adventices Faible à moyen: La pression adventices a augmenté par rapport à la situation initiale et pourrait se révéler être un problème à long terme Moyen à élevé: La pression adventices n'a pas augmenté par rapport à la situation initiale et semble pouvoir être maîtrisée par le SdC Très élevé: La pression adventices a diminué par rapport à la situation initiale	Chardons (Cirses)
Maîtrise des maladies et ravageurs	Indicateur décrivant l'évolution de la population de maladies et ravageurs telluriques ou à faible dispersion, sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici, il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par la maîtrise des maladies et ravageurs depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: La pression maladies et ravageurs a fortement augmenté par rapport à la situation initiale, et le SdC augmente les risques d'infestation des cultures par les adventices Faible à moyen: La pression maladies et ravageurs a augmenté par rapport à la situation initiale et pourrait se révéler être un problème à long terme Moyen à élevé: La pression maladies et ravageurs n'a pas augmenté par rapport à la situation initiale et semble pouvoir être maîtrisée par le SdC Très élevé: La pression maladies et ravageurs a diminué par rapport à la situation initiale	
Maîtrise de l'érosion	Indicateur décrivant l'évolution de l'érosion, sur la base d'observations faites pendant la durée de l'expérimentation. Ici, il s'agit d'apprécier si le potentiel de production a été impacté par la structure du statut acido-basique du sol depuis la mise en expérimentation du SdC et si la tendance risque de se poursuivre avec le système testé.	Très faible: Le SdC a été confronté à de nombreux problèmes d'érosion Faible à moyen: Des signes d'érosion ont régulièrement été observés sur le SdC Moyen à élevé: Quelques signes d'érosion ont été observés sur le SdC de manière très exceptionnelle Très élevé: Aucun signe d'érosion a été observé pendant la durée d'expérimentation sur le SdC	
Diversité floristique	Indicateur basé sur le nombre d'espèces adventices présentes pendant le cycle cultural. Il contribue à favoriser la biodiversité ordinaire	Très faible Faible à moyen Moyen à élevé Très élevé	
Surcharge de travail pendant les périodes de pointe	Indicateur basé sur l'appréciation de la contribution du système de culture à la surcharge de travail. Ici, il s'agit d'estimer le ressenti du pilote du système de culture en terme de pointes de travail et d'organisation du travail. Cet indicateur est estimé à l'échelle du SdC et non de l'exploitation, nous ne prenons pas en compte ici les concurrences entre différents ateliers (grandes cultures, bovins viande, ...) de l'exploitation.	Elevée: Les pointes de travail au sein du SdC sont nombreuses et/ou très difficiles à gérer Moyen: Les pointes de travail au sein du SdC sont assez nombreuses et/ou assez difficiles à gérer Faible: Les pointes de travail au sein du SdC sont peu nombreuses et/ou faciles à gérer	
Qualité technologique	Indicateur visant à qualifier le risque de non-atteinte des exigences de qualité des filières	Faible: Qualité non-atteinte au moins 1 an/3 en moyenne Moyen: Qualité non-atteinte moins d'1an/3 en moyenne Elevée: Qualité presque toujours atteinte	

Sdc30

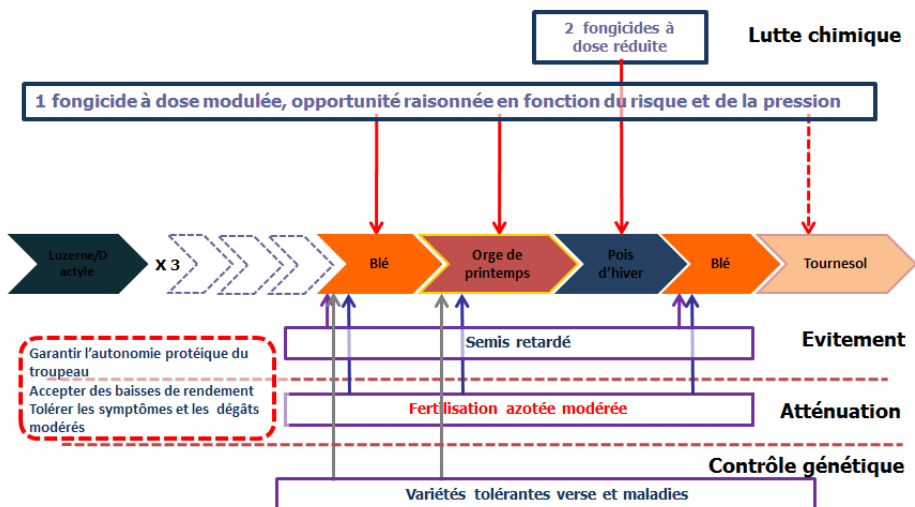
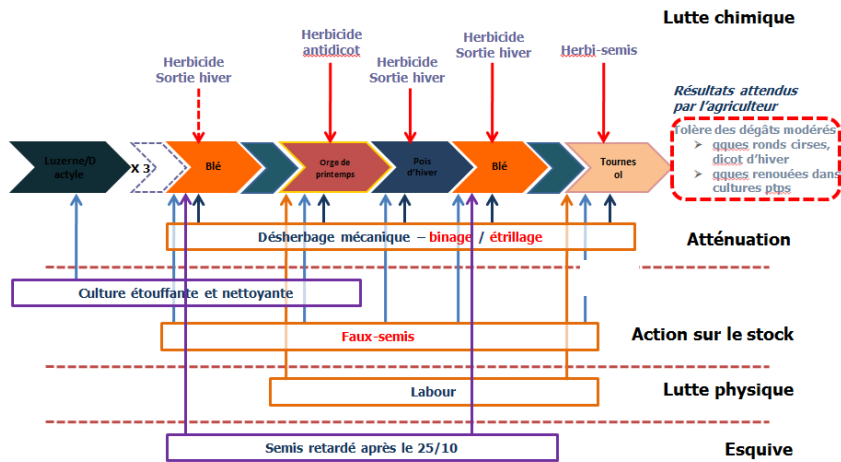
Annexe 7 : Schémas décisionnels

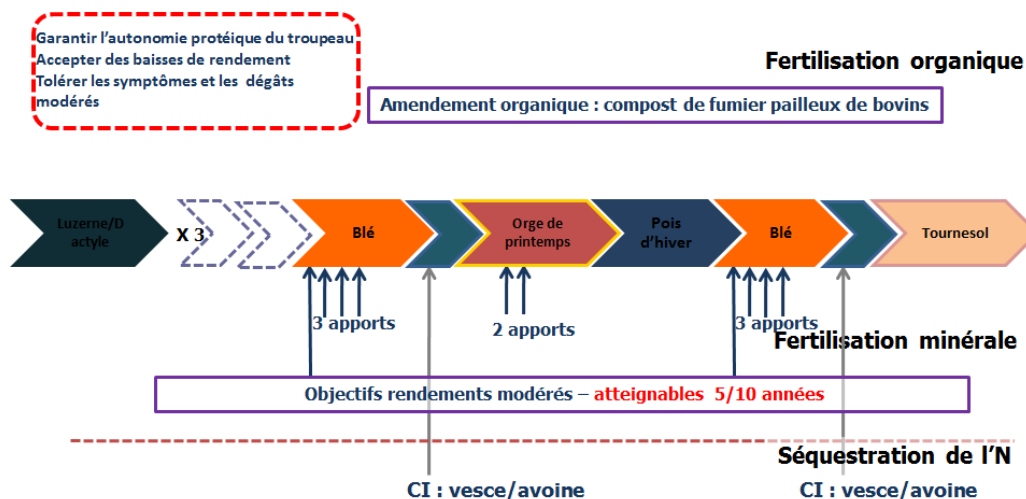
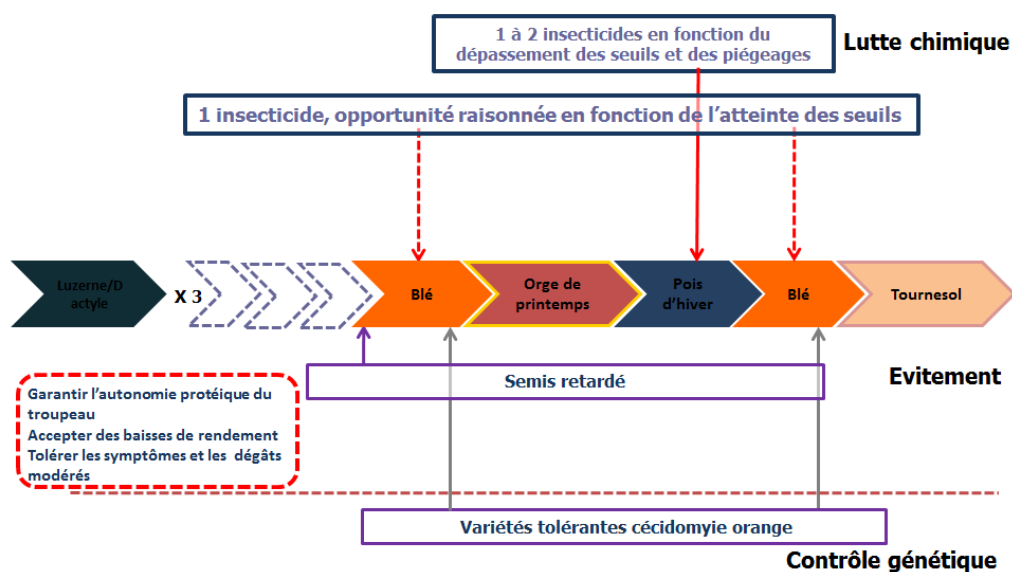
Schémas décisionnels Sdc30





Schémas décisionnels Sdc50





Annexe 8 : Itinéraires techniques

Cultures	Luzerne	Blé de luzerne	Orge de printemps	Pois d'hiver	Blé de pois	Tournesol (2x/3)	Maïs (1x/3)	Blé de Tournesol
Interventions								
Travail du sol Préparation Faux semis	25/07 Déchaumage	Labour au 15 sept herse rotative au 2 oct.	27/07 Déchaumage à 5cm outils à dents	25 juill outils à dents cultivateur à 7 cm	5 juill outils à dents cultivateur	27/07 Déchaumage à 5cm outils à dents	27/07 Déchaumage à 5cm outils à dents	27/09 Broyage
	15/08 Déchaumage		10/08 Déchaumage outils à dents	15 aout outils à dents à 7 cm	25 juill outils à dents cultivateur à 7 cm	10/08 Déchaumage outils à dents	10/08 Déchaumage outils à dents	28/09 outils à dents cultivateur
	21/05 Fanage		11/08 Semis vesce (30kg/ha) / avoine (60kg/ha), semoir semis direct à disques.	5 sept herse plate	1an/2 15 aout outils à dents à 7 cm	11/08 Semis vesce (30kg/ha) / avoine (60kg/ha), semoir semis direct à disques.	11/08 Semis vesce (30kg/ha) / avoine (60kg/ha), semoir semis direct à disques.	10/10 herse rota
	24/05 Andainage		20 oct Broyage	1 oct herse plate	5 sept herse plate	20 oct Broyage	20 oct Broyage	26 oct Roulage (1an/2)
	25/05 Pressage		10nov Labour 20-25cm	1an/2 20 oct, herse plate (si reverdissement)	1 oct herse plate	10nov Labour 20-25cm	10nov Labour 20-25cm	
	22/05 Andainage		<u>1an/2</u> (mauvais labour)		1an/2 20 oct, herse plate (si reverdii)	<u>1an/2</u> (mauvais labour)	<u>1an/2</u> (mauvais labour)	
	26/06 Fanage		reprise herse rota sol gelé 10/01		26 oct Roulage (1an/2)	reprise herse rota sol gelé 10/01	reprise herse rota sol gelé 10/01	
	27/06 Andainage		herse plate 15/02			herse plate 15/02	herse plate 15/02	
	29/06 Pressage		<u>1an/2</u> (beau labour)			<u>1an/2</u> (beau labour)	<u>1an/2</u> (beau labour)	
	11/08 Fanage		Cultivateur lourd au 20/12			Cultivateur lourd au 20/12	Cultivateur lourd au 20/12	
	12/08 Andainage		Herse plate au 15/02			Herse plate au 15/02	Herse plate au 15/02	
	13/08 Andainage					15/03 herse plate	15/03 herse plate	
	15/08 Pressage					1an/2 7/04 herse plate léger	15/04 herse plate légère	
	25/06 Fauchage							
	20/05 Fauchage							
Semis et variété	20/08 Semoir en combiné 20kg	Semoir en combiné au 25/10. 390 g/m².	Semoir en combiné 25/02. 330 g/m².	Semoir en combiné au 02/11 100 g/m², 200kg/ha	Semoir en combiné 25/10. 390 g/m².	10/04 Semoir monograine 68 000 gr/ha avec pulvé localisé sur le rang	20/04 semis monograine 88000gr/ha	Semoir en combiné 25/10.
		Arrezzo. 190kg Roulage le 26 oct	160kg. Traitement semence. Zepplin		Arrezzo 190kg/ha			390 g/m². Arezzo 190kg/ha

Lutte / adventices	Chimique			20/04 Allié Express à 40g/ha (2x/3)	2/04 Challenge 600 (0,25L/ha) Basagran SG (0,15L/ha) Prowl 400 (0,25L/ha)	3/03 Atlantis WG (300g/ha) 1x/2 30g/ha d'Allié Express	10/04 Nikeyl (3L/ha), Prowl 400 (2,7L/ha) sur 50% de la surface (sur le rang) – herbi-semis	20/05 0,4L/Ha de calisto, 0,4L/ha de milagro et 0,4L/ha de Cadéli. 30/05 Lontrel 1,2L/ha	3/03 Atlantis WG (300g/ha) 1x/2 30g/ha d'Allié Express 10/06 Lontrel 1an/2, sur 30% de surface à 1L/ha
	Physique		10/3 herse étrille	25/3 herse étrille (1x/2)	10/03 herse étrille 25/03 herse étrille (1x/2)	10/3 herse étrille (1x/2)	25/05 binage	25/05 Binage	10/3 herse étrille (1x/2)
Lutte / maladies	Chimique		<u>1an/2</u> 15/05 ADEXAR à 0,33L/ha 25/05 PROSARO à 0,8L/ha <u>1an/2</u> 20/05 ADEXAR à 0,8L/ha	15/05 Aviator Xpro à 0,5L/ha	5/5 Fungistop à 1,5L/ha 17/5 Fungistop à 1,5L/ha	<u>1an/2</u> 15/05 ADEXAR à 0,33L/ha 25/05 PROSARO à 0,8L/ha <u>1an/2</u> 20/05 ADEXAR à 0,8L/ha	/		<u>1an/2</u> 15/05 ADEXAR à 0,33L/ha 25/05 PROSARO à 0,8L/ha <u>1an/2</u> 20/05 ADEXAR à 0,8L/ha
Lutte / ravageurs	Chimique		20/05 Karaté Zéon à 0,075g/ha (1x/2)		7/05 1,25L/ha de Karaté K	20/05 Karaté Zéon à 0,075g/ha (1x/2)	/		20/05 Karaté Zéon à 0,075g/ha (1x/2)
	Biolo		/	/	/	/	/	25/06 biotop	/
Fertilisation			5/03 30 U nitrate 5/04 55 U nitrate 1an/2 10/05 40 U nitrate	25/02 50 U nitrate 10/04 40 U nitrate	20/02 , 48 U P et 48 U K de 0-24_24	5/03 40 U nitrate 5/04 40 U nitrate 20/04 30 U nitrate 1an/2 10/05 40 U nitrate	7/08 Compost 11 t	10/06 140U N en urée	5/03 40 U nitrate 5/04 45 U nitrate o 20/04 45 U nitrate 10/05 40 U nitrate
Irrigation					1an/2 :40mm au 15/05			14/07 45mm	
Gestion des résidus			Exportés 3,5t/ha de paille/ha (10% d'humidité). Andainage et pressage	Exportés 3t/ha de paille (10% humidité) Andainage et pressage	Broyées Enfouis	Exportés 3,5t/ha de paille/ha (10% d'humidité). Andainage et pressage	Enfouis	01/01 Compost (13 000 t)	Exportés 3,5t/ha de paille/ha (10% d'humidité). Andainage et pressage
Rendement		Année 1: 10t/ha Année 2: 14t/ha Année 3: 12t/ha	18/07 - 80 q/ha (75 à 85q/ha)	15/07 - 70 q/ha (65-75q/ha)	25/06 - 45 q/ha (40 à 50 q/ha)	18/07 - 80 q/ha (75 à 85q/ha)	25/09 28 q/ha (25-35q/ha)	20/10 - 110 q/ha de 90 à 125 (à 15%hum) mais récolte à 30% humidité	18/07 - 75 q/ha (72 à 78q/ha)

Cultures		Maïs	Soja	Blé de soja	Moutarde	Orge de printemps
Interventions						
Travail du sol		25/07 Déchaumage à 5cm outils à dents	01/11 Broyage	12/10 Déchaumage Outils à dents	27/07 Déchaumage outils dents	01/08 Broyage
Préparation		08/08 Déchaumage outils à dents	10/11 Déchaumage outils dents 1an/2	cultivateur <u>1an/3</u>	18/08 Déchaumage outils dents	05/08 Déchaumage outils dents
Faux semis		10/08 Semis vesce (30kg/ha) / avoine (60kg/ha), semoir semis direct à disques.	20/11 Labour		<u>1an/2</u>	10/08 Semis vesce/avoine semoir à disques
		18 oct Broyage	<u>1an/2</u> (mauvais labour) reprise herse rota sol gelé 10/01		10/09 Déchaumage outils dents	18 oct Broyage
		25 nov Labour 20-25cm	herse plate 15/02		25/08 Herse rotative	25 nov Labour 20-25cm
			herse plate 15/03		20/09 Herse plate	<u>1an/2</u> reprise herse rota sol gelé 10/01 herse plate 27/02
			herse plate 15/04			
		<u>1an/2</u> (mauvais labour) reprise herse rota sol gelé 10/01	<u>1an/2</u> (beau labour) Reprise Cultivateur lourd au 07/01			<u>1an/2</u> Cultivateur lourd au 20/12 27/02 Herse plate
		herse plate 15/02	25/02 Herse plate			
		herse plate 15/03	25/03 herse plate			
		herse plate 15/04	25/04 herse plate			
		<u>1an/2</u> (beau labour) Cultivateur lourd au 20/12				
		15/02 Herse plate				
		15/03 herse plate				
		15/04 herse plate				
Semis et variété		20/04 Semis monograine 90000gr/ha	01/05 Semis combiné 65g/ha ou 650 000gr/ha	15/10 Semoir à disques 180kg/ha	22/09 Herbi-semis 1,5kg/ha	01/03 Semis en combiné 160kg
Lutte / adventices	Chimique	18/05 0,3L/ha de Calisto, 0,3L/ha de Millagro et 0,1L/ha de Casper	05/06 Pulsar 0,3 L/ha	03/03 Atlantis Wg 300g/ha <u>1an/2</u>	Herbi-Semis Calsamid 1,4L/ha Noval 1,2L/ha	10/04 Axial Pratique 0,9L/ha <u>1an/2</u> Millenium opti 60g/ha <u>1an/2</u>
		30/05 Lontrel 0,9L/ha Banvel 4S 0,3 l/ha	18/06 Pulsar 0,6 L/ha	03/03 Allié Express 30g/ha		20/04 Allié Express 40g/ha

	Physique	11/06 Binage		07/03 Herse étrille <u>1an/2</u>	10/12 Binage <u>1an/3</u> 25/03 Binage	25/03 Herse étrille <u>1an/2</u>
Lutte / maladies	Chimique			<u>1an/2</u> 15/05 Adexar 0,4L/ha 25 /05 Prosaro 0,8L/ha 20/05 Adexar 0,8L/ha		15/05 Aviator Xpro 0,5L/ha
Lutte / ravageurs	Chimique				06/10 Extralugec <u>1an/3</u> 4,5L/ha 15/03 Karaté Zéon <u>1an/2</u> 0,075L/ha 25/04 Pyrinex ME 0,75L/ha 05/05 Proteus <u>1an/2</u> 0,52L/ha	
	Biologique	22/06 Biotop (Trichogramme)				
Fertilisation		10/06 140U N en urée 07/08 Compost Bovin	10/03 200kg 0-24-24	5/03 40 U d'ammo 5/04 45 U d'ammo 20/04 45 U d'ammo	05/03 200 kg de 0-24-24 05/03 150 kg d'ammo 27/03 170 kg Azote souffré (20%de souffre)	01/03 180kg d'ammo 22/03 125kg d'ammo 01/03 200kg 0-24-24
Irrigation		14/07 45mm 01/08 45mm 1an/2	10/07 40mm			
Gestion des résidus		Broyés et enfouis	Broyés et enfouis	Exportés 3,5t de paille/ha (10% d'humidité). Andainage et pressage	Broyés et enfouis	Exportés 3t/ha Andainage-Pressage
Rendement		20/10 - 110 qx/ha (à 15%hum) mais récolte à 30% humidité	10/10 35qtx/ha	18/07 - 75 q/ha (72 à 78q/ha)	27/07 20qtx/ha	15/07 70qtx/ha

Caractérisation et évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture de Tart-le-Bas du lycée agricole de Quétigny

Résumé

Face aux nouveaux enjeux de la société devant être en adéquation avec un développement durable, l'agriculture tient une place importante et se doit d'y participer. Pour encourager les changements nécessaires à cet objectif, un plan national d'objectif de réduction de la dépendance aux pesticides a été lancé en 2008, le plan Ecophyto 2018. Dans cette optique, le site Tart-le-Bas occupe à la fois une place d'exploitation agricole, mais également de site expérimental de la production intégrée en condition réelle de production. Les deux systèmes de culture innovants de Tart-le-Bas ont un objectif respectif de réduction d'utilisation des pesticides de 30% (Sdc30) et de 50% (Sdc50). Ils sont régulièrement évalués afin d'être améliorés et servir de référence pour construire de nouveaux projets inspirés des principes de la protection intégrée des cultures. Dans un premier temps les systèmes de culture ont été caractérisés par l'analyse d'indicateurs discrétisés (logiciel Criter) où le Sdc50 a pu être comparé à un système de culture de référence, puis dans un second temps une évaluation multicritère (méthode Masc) de leur contribution au développement durable a été réalisée. Ces analyses ont permis de mettre en évidence les points forts et les points faibles de systèmes de culture innovants. Ils sont indéniablement très performants d'un point de vue environnementale avec une supériorité pour le Sdc50. Socialement, ils sont comme tous les systèmes en grande culture peu contributeur à l'emploi, du moins à l'échelle du système de culture, mais ils sont beaucoup moins nocifs pour la santé de l'opérateur des traitements de pesticides par rapport à un système de référence et leurs rendements répondent aux attentes de la société. D'un point de vue économique, le Sdc50 est légèrement inférieur au Sdc30 mais très proche du système de référence.

Mots clés : production intégrée des cultures – système de culture innovants- performance – évaluation multicritère de la durabilité

Characterization and multi-attribute assessment sustainability of Tart-le-Bas of Quétigny agricultural college

Abstract

To respond to new targets society of sustainable development, cropping has an important role in this project. To promote to change necessary for this, a national plan has started since 2008, named Ecophyto 2018, which aimed to reduce pesticides dependence. In this project, the Tart-le-Bas place is firstly a cropping exploitation and secondly an experimental place of integrate production in real exploitation condition. The two innovative cropping systems have different objective of reduction use of pesticides, thirty percent (Sdc30) and fifty percent (Sdc50). They are often evaluate to be improve and become an example to build other innovative cropping systems, and validate principle integrate production. In the first time, the cropping system of Tart-le-Bas has been characterized by the analysis of discretized indicators (software Criter). In this work Sdc50 has been compared to reference cropping system. In the second time, multi-attribute assessment sustainability (method Masc) has been realized in these systems. This works have highlighted strong points and weakness points of innovative cropping system of Tart-le-Bas. These systems have undeniably environmental high-performances with a best result for the Sdc50. Socialy, like all other systems in big cropping, they offer very bit employment, at least at cropping system scale, but they are less harmful for the farmer health in pesticides treatment relative to current cropping system and their yield answer to target society. Economic point of view, Sdc50 is slightly more weak but stay very near to current cropping system.

Keywords: integrated pest management - innovative cropping system – performance - multi-attribute assessment sustainability